

Vicissitudes dos digestores anaeróbios de lodo no Brasil

Vicissitudes of anaerobic sludge digesters in Brazil

• **Data de entrada:**
28/08/2015

• **Data de aprovação:**
26/07/2016

Marcelo Kenji Miki *

DOI:10.4322/dae.2016.032

Resumo

No Brasil, as atividades de projeto (concepção e dimensionamento) e operação de digestores anaeróbios de lodo acabaram incorporando certas práticas, que acabam por desfavorecer o uso mais racional deste tipo de processo. Enquanto que em países como EUA e Alemanha realizam contínuos esforços para o uso benéfico do biogás, no Brasil, mesmo em ETEs de grande porte, esta prática não se encontra muito difundida. Esta nota técnica destacou elementos de caráter técnico dos digestores anaeróbios de lodo com o intuito de subsidiar os estudos de viabilidade técnico-econômico-ambiental do uso benéfico de biogás. Estas questões de caráter mais técnico checam os fundamentos de tratamento de esgoto e proporcionam um melhor entendimento do tratamento de esgotos em nosso país. Em estudos de viabilidade, além das questões meramente econômicas, como a tarifa de energia elétrica e incentivos fiscais no Brasil, há outros elementos que deveriam ser reavaliados. A falta de preocupação na fase de projeto em relação ao regime de temperatura no interior dos digestores anaeróbios na faixa de 35°C pode levar à falta de visão de um maior custo operacional devido à maior produção de lodo, bem como em outras questões operacionais relevantes, como recebimento de materiais que interferem negativamente no processo.

Palavras-chave: Digestor Anaeróbio, biogás, digestão mesofílica, uso benéfico.

Abstract

In Brazil, the design and operation of anaerobic sludge digesters have incorporated certain practices, which do not lead to a more rational use of this type of process. While in countries such as the United States and Germany, there are continuous efforts to use biogas, in Brazil, even in large-scale plants, this practice is not widespread. This technical note highlighted technical aspects of the anaerobic sludge digesters with the purpose of subsidizing the technical-economic-environmental viability studies of the beneficial use of biogas. These more technical issues check the basics of sewage treatment and provide a better understanding of sewage treatment in our country. In feasibility studies, in addition to merely economic issues, such as electric energy tariffs and tax incentives in Brazil, other elements should be re-evaluated. The lack of concern in the design phase regarding the temperature regime inside anaerobic digesters in the 35°C range may lead to a lack of vision of a higher operating cost due to increased sludge production, as well as other relevant operational issues such as Material that interferes negatively with the process.

Keywords: Anaerobic digester, biogas, mesophilic digestion, beneficial use.

Marcelo Kenji Miki – Engenheiro civil e mestre pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)
Gerente do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação/TXE da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp)

Endereço para correspondência (*): Rua Costa Carvalho, 300, São Paulo-SP, CEP 05429-900, e-mail: mmiki@sabesp.com.br

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de saneamento ainda se ressentido de ter indicadores muito desfavoráveis, principalmente no que se refere a questão de tratamento de esgotos.

E mais grave do que ter poucos sistemas de tratamento de esgoto implantados, é direcionar os escassos recursos disponíveis em projetos deficientes do ponto de vista técnico e econômico.

Uma questão prática difundida na elaboração de projeto de ETE no Brasil, cuja origem é desconhecida, é a adoção de digestores anaeróbios de lodo, do tipo convencional sem sistema de aquecimento. Supõe-se que há uma tendência de se justificar tal prática com o fato do Brasil ser um país favorecido pelas condições tropicais e consequentemente com temperaturas mais altas.

Nos EUA, a utilização da digestão anaeróbia de lodo, realizada em conjunto com decantação primária, é adotada em faixas típicas de vazão média entre 11.000 a 19.000 m³/dia (127 a 219 L/s), conforme a WEF (2012). Para vazões menores, prefere-se adotar o sistema aeróbio de tratamento de esgotos, pois tende a ser menos complexo do ponto de vista operacional e ter em investimento menor.

No Brasil, tanto a prática de projeto como a operação dos digestores anaeróbios de lodo estão repletas de vicissitudes, que são discutidas nesta Nota Técnica.

Entende-se por vicissitudes como uma sucessão de alternâncias, instabilidade que conduz à imprevisibilidade e condição que contraria ou é desfavorável a algo ou alguém.

2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE DIGESTORES ANAERÓBIOS DE LODO

Uma das diferenças mais significativas referente a projeto de ETEs no Brasil refere-se a questão da temperatura de trabalho nos digestores anaeró-

bios, que afeta significativamente a produção de biogás bem como a produção de lodo digerido.

O dimensionamento de digestores anaeróbios de lodo adotado em METCALF & EDDY (2013) é focado para a digestão única a alta taxa com sistema de aquecimento entre 30 a 38°C. Já em QASIM (1999) cita-se como digestão convencional aquela que seria não aquecida e não misturada, com tempos de digestão de 30 a 60 dias e normalmente considerada instável e ineficiente. E ainda de acordo com METCALF & EDDY (2013) uma prática utilizada no passado e raramente utilizada hoje em dia, era fazer um dimensionamento associando um digestor de alta taxa com um convencional, de modo que este último operaria principalmente como estocagem.

No Brasil, os projetos de digestores anaeróbios de lodo normalmente são dimensionados sem sistema de aquecimento. E na Norma Brasileira ABNT NBR 12209 de dimensionamento de ETEs, o item 7.5.2.14 apresenta como tempo de digestão os seguintes valores:

- a) Para digestor convencional não homogeneizado: ≥ 45 dias;
- b) Para digestor convencional homogeneizado: ≥ 30 dias;
- c) Para digestor de alta taxa não aquecido: ≥ 22 dias;
- d) Para digestor de alta taxa aquecido: ≥ 18 dias;

Enquanto que nos EUA, há a alternativa de dimensionamento de dois tipos de digestores mesofílicos anaeróbios, nota-se que no Brasil há quatro tipos e cujos fundamentos são um tanto desconhecidos.

No Estado de São Paulo, mais especificamente na Sabesp, ainda são poucas as ETEs com digestores anaeróbios de lodo, podendo ser citadas como exemplo as ETEs de Barueri, Suzano, ABC e São Miguel da RMSP e a ETE Franca (Figura 1), sendo todos

atualmente sem aquecimento. Para as ETE de Suzano e Franca, levantamentos realizados nos últimos anos apresentaram respectivamente uma temperatura média mensal no digestor de 22°C e 24°C e temperatura máxima mensal de 26°C e 27°C.



Figura 1: Digestores anaeróbios da ETE Franca – São Paulo sem sistema de aquecimento e temperatura média de 23°C

Este gradiente de temperatura aproximado de 10°C entre um digestor aquecido a 35°C e um digestor não aquecido em clima tropical de 25°C é extremamente significativo na taxa de crescimento das bactérias anaeróbias e conforme a figura 2, a diferença é de aproximadamente o dobro.

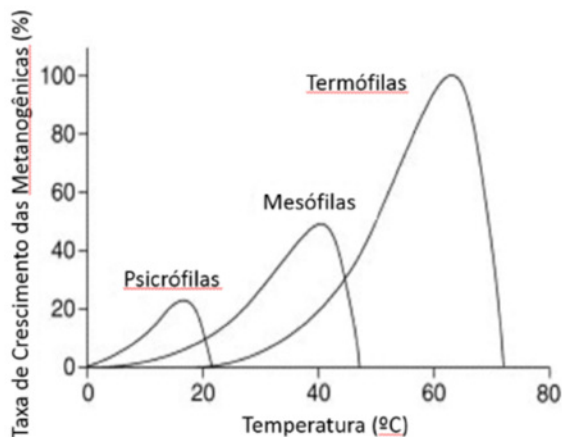


Figura 2: Taxa relativa de crescimento das bactérias metanogênicas em função da temperatura.
Fonte: Wiegel (1990) apud Lettinga et al (2001)

Este fundamento teórico do gráfico anterior é refletido na prática de dimensionamento do tempo de detenção do digestor anaeróbio em função da temperatura, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Tempos de detenção recomendados no dimensionamento de Digestores Anaeróbios de Lodo

Temperatura operacional, °C	Tempo de Detenção Mínimo, (dias)	Tempo de Detenção de Projeto, (dias)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Fonte: Metcalf & Eddy (2013)

Como a temperatura num digestor exerce influência direta na taxa de crescimento biológico e consequentemente no grau de estabilização do lodo e na produção de biogás, é fundamental garantir um sistema de aquecimento tanto para o lodo de entrada como do lodo dentro do digestor, possibilitando assim uma variação mínima de temperatura e a estabilidade do processo. Conforme METCALF & EDDY (2013) a demanda de calor necessária para o aquecimento de digestores deve atender aos seguintes quesitos:

- Aumento da temperatura do lodo para a entrada dos digestores;
- Compensação da perda de calor nas paredes, fundos e teto do digestor;
- Compensação das perdas de calor que podem ocorrer na tubulação entre o aquecimento e o digestor.

O método mais comum para aquecimento de digestores é através de trocadores de calor externos, que podem ser através dos seguintes tipos: container com água aquecida, casco/tubo e espiral.

A demanda de energia para aquecimento de digestores é diretamente influenciada pelas condições climáticas. Em levantamento realizado pela

CHP, EPA em 2011, contabilizou a demanda de energia necessária para aquecimento dos digestores anaeróbios em função do porte da ETE, parametrizada através da vazão. Este levantamento foi dividido em 5 zonas climáticas dos EUA e mesmo em locais com clima quente nota-se uma demanda energética, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Requisitos de energia térmica para digestores anaeróbios conforme a zona climática

Clima	(MJ/dia)/(m³/s)		
	Mínimo	Máximo	Média
Zona 1 (Frio)	43.346	89.100	67.427
Zona 2 (Moderado/Frio)	38.530	81.876	60.203
Zona 3 (Moderado/Misto)	33.714	72.243	55.387
Zona 4 (Quente/Muito Quente)	28.897	67.427	48.162
Zona 5 (Muito Quente)	24.081	62.611	43.346

Fonte: CHP, EPA (2011)

A opção de aquecimento de digestores anaeróbios é uma prática adotada mesmo nas regiões mais quentes dos EUA, levando-se em conta os benefícios da maior estabilização do lodo e menor geração de sólidos. E a energia a ser utilizada para este aquecimento do lodo normalmente vem do próprio biogás gerado no digestor, já que sua produção em muito supera a demanda para aquecimento do lodo.

Para realizar este aquecimento do lodo, a alternativa técnica mais convencional é utilizar o biogás para aquecimento de uma caldeira e a água quente resultante utilizada num trocador de calor externo e o biogás excedente é enviado para queimadores. Neste tipo de configuração com caldeira, normalmente o biogás não é submetido a um processo de remoção de impurezas.

Outro parâmetro de dimensionamento utilizado em digestores anaeróbio é a taxa de aplicação de

SSV (em kg /m³ dia). O Quadro 3 apresenta valores de taxa de aplicação conforme o tipo de lodo.

Quadro 3: Critérios típicos de dimensionamento para digestores anaeróbios mesofílicos de lodo de mistura completa e alta taxa

Parâmetro	Valor	Unidades
Critério Volumétrico Lodo Primário	0,03 – 0,06	m³/capita
Lodo Primário + Lodo de Filtro Biológico	0,07 – 0,09	m³/capita
Lodo Primário + Lodo Secundário	0,07 – 0,11	m³/capita
Taxa de Aplicação de Sólidos*	1,6 – 4,8	kg SSV/m³ dia
Tempo de Detenção de Sólidos*	15 – 20	Dias

* baseado na combinação de digestão de lodo primário e secundário sem qualquer método pré-tratamento

Fonte: Metcalf & Eddy, 2013

Já os valores típicos de redução de sólidos voláteis destruídos num digestor anaeróbio de alta taxa em função do tempo de detenção estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Estimativa de Destruição de Sólidos Voláteis em digestor anaeróbio mesofílico de alta taxa e mistura completa

Tempo de Detenção, dias	Destruição de Sólidos Voláteis, %
30	50 – 65
20	50 – 60
15	45 – 50

Fonte: Metcalf & Eddy (2013)

A importância da destruição de sólidos voláteis é a menor produção de lodo em massa seca e a maior produção de biogás e conseqüentemente de energia, caso haja um uso benéfico. Outro efeito colateral da maior destruição de sólidos voláteis é um lodo com maior porcentagem de sólidos fixos em sua composição, beneficiando

tanto a fase de condicionamento químico, com menor consumo de polímero, como na fase de desaguamento mecânico, que resulta num lodo menos úmido, conforme LAWLER et al (1986). No exterior, principalmente na Europa, é comum de se adotar a incineração do lodo. E quanto mais seco o lodo na fase de desaguamento, menor será o consumo energético consumido para as etapas de secagem e incineração, já que a água presente no lodo representa uma alta demanda energética para aquecimento.

Enfim, os benefícios do devido aquecimento do lodo se resumem numa menor geração de lodo, tanto em massa seca como na úmida, e numa maior produção de biogás. Estes benefícios deveriam ser devidamente contabilizados na fase de projeto de uma ETE e não ser simplesmente descartados, sem uma devida avaliação crítica. Pode-se presumir que tal desprezo pelo aquecimento dos digestores anaeróbios de lodos ocorreu numa época em que a disposição do lodo no próprio pátio da ETE, situação comum ocorrida no passado, não representando um custo operacional. Outra hipótese desta abordagem foram as constantes falhas ocorridas nos sistemas de aquecimento destes digestores mais antigos, apresentando diversos problemas operacionais e sem a devida estabilização de regime mais contínuo.

3 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE DESTRUIÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS NO DIGESTOR

Como foi citado a destruição de sólidos voláteis, cabe aqui destacar a abordagem de seu cálculo em termos de rotina operacional que pode ser calculada através da fórmula de Van Kleeck, conforme METCALF & EDDY (2013).

$$R_{SSV} = \frac{W_{SV \text{ na entrada}} - W_{SV \text{ na saída}}}{W_{SV \text{ na entrada}} - (W_{SV \text{ na saída}}) \times W_{SV \text{ na entrada}}} \times 100$$

(1)

Onde:

$W_{SV \text{ na entrada}}$ = fração em massa de sólidos voláteis por sólidos totais para o lodo de entrada no digestor

$W_{SV \text{ na saída}}$ = fração em massa de sólidos voláteis por sólidos totais para o lodo de saída no digestor

A fórmula de Van Kleeck assume que não há saída de sobrenadante ou acumulação de areia dentro do digestor, podendo não ter na prática uma acurácia de 100%. Neste cálculo assume-se que o conteúdo de carga de sólidos fixos é conservativo ao passar pelo digestor.

A justificativa da adoção desta equação em termos operacionais está explicada pela US EPA (2003). A vantagem de se utilizar a fórmula de Van Kleeck é que os valores das relações de Sólidos Voláteis/Sólidos Totais na entrada e saída do digestor sofrem menos oscilações que os valores absolutos de concentração de sólidos. Outra forma para contornar esta variabilidade, seria adotar uma coleta de amostras mais frequentes, o que implicaria numa maior carga de trabalho laboratorial. Estas concentrações sofrem oscilações significativas nas operações de adensamento de lodo e um valor isolado desta medida pode não representar o que de fato ocorreu no processo.

4 IMPORTÂNCIA DO ADENSAMENTO DE LODO

A importância do processo de adensamento de lodo, tanto o primário como o secundário, referem-se à retirada de água em excesso que demanda uma energia para aquecimento e bem como diminuir o volume de lodo processado e contribuir para o

prolongamento do tempo de detenção no digestor.

Quadro 5: Efeito da concentração de lodo e do tempo de detenção na taxa de aplicação de sólidos

Teor de Sólidos do Lodo, %	Taxa de Aplicação de Sólidos Voláteis (kg SSV/m ³ dia)			
	10 dias ^b	12 dias	15 dias	20 dias
2	1,4	1,2	0,95	0,70
3	2,1	1,8	1,4	1,1
4	2,9	2,4	1,9	1,4
5	3,6	3,0	2,4	1,8
6	4,3	3,6	2,9	2,1
7	5,0	4,2	3,3	2,5
8	5,7	4,8	3,8	2,9

^a Baseado num lodo com 70% de sólidos voláteis e uma massa específica de 1,02 kg/L

^b Tempo de detenção Hidráulica em dias

Fonte: Metcalf & Eddy, 2013

A importância do adensamento na alimentação do lodo para digestor é indicada nos dados apresentados do Quadro 5. Por exemplo, para um tempo de detenção hidráulico de 15 dias e com 3% de ST, a taxa de aplicação de sólidos é de 1,4 kg SSV/m³ dia. Aumentando-se a alimentação do lodo em 6% de ST, a taxa de aplicação de sólidos pode subir para 2,9 kg SSV/m³ dia, próximo do valor médio de taxa de aplicação de sólidos do Quadro 6. Neste exemplo hipotético, atinge-se uma duplicação da capacidade do digestor.

No Brasil, um possível efeito colateral desta prática de não se adotar o aquecimento de lodos é não dar a devida atenção a etapa de adensamento de lodo, já que afeta diretamente na demanda de calor. Esta abordagem se torna mais grave quando se refere ao excesso de lodo biológico, cujas características não favorecem a utilização do adensamento por gravidade, como o utilizado no lodo primário. De acordo com QASIM (1999), a presença de lodo biológico complica o adensamento por gravidade pois seu comportamento caracteriza-se por apresentar uma sedimentação lenta, resistir à compactação e com tendência a estratificação. Este tipo de consideração referente ao lodo biológico também pode ser encontrado em WANG et al (2007), que relata das dificuldades encontradas no passado. Na ETE de

Franca o lodo biológico passa por um adensador por gravidade dedicado e o teor de sólidos resultante dificilmente atinge 2%.

Em METCALF & EDDY (2013) cita-se a utilização da decantação em conjunto para adensamento do lodo biológico no decantador primário. A descrição desta operação é mais complexa pois envolve a utilização de um dos decantadores como unidade de adensamento do lodo biológico, controle do tempo de detenção do lodo, adição de agentes coagulantes para melhorar a sedimentação do lodo, diluição do lodo, etc.

5 LINHA BASE NOS ESTUDOS DE USO BENÉFICO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE COGERAÇÃO

De acordo com a WERF (2012), mesmo em países desenvolvidos como os EUA, somente 8% das ETEs com digestão anaeróbia fazem uso do biogás como fonte de energia, sendo que a forma mais comum de uso do biogás é a cogeração. Em um levantamento realizado pela US EPA Combined Heat and Power Partnership (CHPP), em 2011 havia um potencial significativo de geração de energia a partir do biogás em torno de 200 a 400 MW que poderia ser utilizado nas próprias ETEs ou injetada na rede elétrica. E considerando que 4% de toda a eletricidade dos EUA é utilizada na operação de sistemas de água e esgoto, ilustra-se a importância crítica do papel das ETEs em suprir energia.

De acordo com relatos colhidos na Alemanha em visita realizada em 2013 através do PROBIOGÁS, Programa de Cooperação Técnica entre o Brasil e a Alemanha, patrocinado pelo Ministério das Cidades e a Agência GIZ, a viabilidade econômica para a utilização do Biogás em cogeração se dá em ETEs com um atendimento mínimo de 30 mil habitantes (aproximadamente 60 L/s).

Nos EUA, havia uma regra geral que dizia que ETEs com capacidade acima de 10 mgd (438 L/s) tinham atratividade econômica em cogeração, devido a economia de escala. Este número vem

sofrendo algumas reavaliações e acredita-se que deveria ser revisto para 175 L/s (4 mgd) ou 219 L/s (5 mgd). O grupo da EPA de cogeração estima que uma ETE de capacidade de 219 L/s (5 mgd) equivale a 10 kW de capacidade de geração de energia elétrica. Esta mudança de paradigma é devida, em grande parte, a habilidade das ETEs em receber e processar resíduos de outras fontes (que não o esgoto propriamente dito) e em menor extensão, em pré-tratamento de lodo e melhorias na digestão.

De acordo com levantamento realizado pelo CHP (2011) os custos para instalação de equipamentos de cogeração incluindo os custos de pré-tratamento são:

Quadro 6: Custos de instalação de equipamentos de cogeração

Tipo de Co-Geração com pré-tratamento do Biogás	Preço por kW instalado
Micro Turbina	U\$ 3000/kW a U\$ 5000/kW;
Motor Alternativo (ou ainda denominado motor convencional de combustão interna)	a) U\$2500/kW a U\$ 4000/kW, para instalações de 300 kW a 1 MW; b) U\$ 2000 a U\$ 3000/kW para instalações acima de 1 MW;
Turbina	U\$ 1800 a U\$ 2800/kW;
Células Combustível	U\$ 5000 a U\$ 6000/kW, mesmo para instalações acima de 1 MW.

Fonte: CHP (2011)

O que cabe ser destacado neste estudo realizado pelo CHP (2011) é que o foco foi direcionado para ETEs já com digestores anaeróbios, representando a melhor oportunidade para a cogeração. Mas, conforme relatado anteriormente, cabe destacar que nos EUA os digestores anaeróbios já são projetados levando-se em conta o aquecimento do lodo para a fase mesofílica, que normalmente utilizam o próprio biogás para este aquecimento e o excedente é queimado em flares ou ainda utilizado no aquecimento ambiente. E através de modelagem chegou-se na seguinte regra de potencial energético:

- 1 MGD de vazão afluente (43,8 L/s) equivale a uma instalação elétrica com capacidade

de 26 kW e 2,4 MMBtu/dia de energia térmica (23.229 MJ/dia).

A análise deste estudo revelou que uma substancial quantidade de calor para aquecimento de instalações só estava disponível em locais com clima mais quente, onde a demanda para este aquecimento é mínima, exceto nos meses de inverno. Nestes locais com clima quente, até 25% da energia térmica gerada na cogeração está disponível para aquecimento ambiente de instalações. Já nos climas frios, onde há uma demanda para aquecimento dos digestores, normalmente não há energia de sobra para o aquecimento ambiente de instalações.

O que deve ser destacado nos estudos de viabilidade financeira do uso benéfico de biogás através de cogeração é a linha base de avaliação. Como destacado, muitas vezes no Brasil não se considera a necessidade de se aquecer os digestores anaeróbios para a fase mesofílica e consequentemente não se prevê o isolamento térmico das paredes dos digestores, bem como as instalações necessárias para aquecimento. Logo num estudo econômico limitado a geração de energia elétrica pode haver uma perda da atratividade econômica justamente pelo fato de se incluir um alto investimento para o aquecimento dos digestores, condição esta que não ocorre nos países desenvolvidos.

Do ponto de vista energético, o melhor aproveitamento do biogás seria através de calor. Quando se faz o aproveitamento combinado do biogás através de energia elétrica e calor, também há uma condição favorável do ponto de vista energético, fato que não ocorre quando há somente o aproveitamento para geração de energia elétrica.

Quando os digestores anaeróbios não são aquecidos como no Brasil, não ocorre esta simbiose deste aproveitamento combinado de energia elétrica e calor. Este calor excedente da cogeração poderia ter outro uso de modo a aumentar a eficiência energética global, no entanto numa ETE convencional desconhece-se outro uso tão

vantajoso, que aproveite esta demanda, como o aquecimento de digestores anaeróbios de lodo. Outro possível uso poderia ser o aquecimento de instalações prediais, de uso mais restrito no Brasil. Já a utilização deste calor contribuiria pouco para um processo de secagem térmica do lodo devido à alta demanda energética deste tipo de processo, sendo necessário complementar com outras fontes de energia como gás natural ou energia solar.

Em visita técnica nas ETEs da Alemanha, notou-se que algumas ETEs não promoviam um tratamento prévio do biogás gerados nos digestores anaeróbios, mesmo para o H_2S . Uma suposição desta não necessidade de remoção destas impurezas pode estar relacionada a adoção de utilização de sais férricos para a remoção de fósforo e que ao entrarem no digestor anaeróbio, abatem a concentração de H_2S no biogás. Outro aspecto interessante é que os fornecedores dos conjunto moto-geradores são normalmente empresas localizadas muito próximas as ETEs e com facilidade de se fazer a manutenção.

Outra questão relevante a ser mencionada é o costume no Brasil de não se investir numa ETE após a etapa de construção, mesmo que haja uma viabilidade econômica, devido a disputa de recursos orçamentários para outras prioridades, como por exemplo, aquelas estabelecidas pela Universalização do Saneamento. Este quadro é muito comum de se encontrar em companhias mistas e públicas. Desta forma, cabe destacar que um programa de cogeração pode ser mais fácil de ser implementado no Brasil nas empresas de caráter público, caso tenha origem em sua concepção original. Entende-se que este foi o caso do aproveitamento energético de Biogás da ETE Arrudas, Belo Horizonte, MG, COPASA, com capacidade nominal de $3,375 \text{ m}^3/\text{s}$. Trata-se de uma ETE de Lodos Ativado Convencional com Digestores Anaeróbios de Lodo devidamente aquecidos na fase mesofílica, com capacidade instalada de geração de 1640 kW (10 microturbinas) e aproveitamento do calor do

gás de escape para aquecimento do lodo de entrada ao digestor.

Já no caso da ETE de Ribeirão Preto (vazão média de tratamento de $120.000 \text{ m}^3/\text{dia}$) de Concessão Privada da GS Inima do Brasil, a implantação da cogeração ocorreu após quase 1 década da implantação em 2002. A ETE de Ribeirão Preto é do tipo de Lodos Ativado Convencional e com Digestores Anaeróbios de Lodo devidamente aquecidos a 37°C , com 2 moto geradores com capacidade de gerar 752kWh . O modelo de negócio utilizado para a implantação da usina de geração de energia elétrica foi um contrato de longo prazo (48.000 horas) com manutenção preventiva embutida, e comprovação inicial do rendimento energético nos dois anos iniciais de operação. A cogeração por não ser o core business da empresa de saneamento, repassa o risco tecnológico de questões futuras para a empresa contratada na cogeração. Por exemplo, os requisitos de qualidade de biogás, como siloxanos e H_2S , e suas respectivas tecnologias de tratamento para abastecer o motor de cogeração seriam de responsabilidade da empresa fornecedora da cogeração e não mais da empresa operadora de saneamento.

No Brasil, um questionamento que deveria ser feito antes que a cogeração nos projetos atuais de ETEs convencionais refere-se ao aquecimento dos digestores anaeróbios e seus devidos impactos operacionais nos custos de disposição final do lodo, cujos preços tem sofrido aumento nos aterros sanitários e também nos custos de processamento, que no Estado de São Paulo tem sido muito adotada a compostagem, para atender aos requisitos de disposição na agricultura.

6 RECEBIMENTO DE OUTROS MATERIAIS NOS DIGESTORES ANAERÓBIO DE LODO

Experiências no exterior tem mostrado o uso crescente dos digestores anaeróbio de lodo no co-processamento de outros resíduos. Na Alemanha, na ETE de Manheim com vazão média de tratamento

de 1 m³/s, possui uma unidade de recebimento de lodo industrial. São estabelecidos certos critérios de recebimento, como envio o mais constante possível e DQO acima de 100.000 mg/L (exemplo: origem de indústria de sorvete). Como há uma valoração energética dos resíduos na Alemanha, há situações em que a ETE paga pelo resíduo ou vice-versa. O processamento de lodo na ETE de Manheim/Figura 3 corresponde a 90 m³/h gerado no próprio tratamento de esgoto e 200 m³/h de resíduos da indústria alimentícia/Figura 4.



Figura 3: Digestores Anaeróbios de Lodo (37° C) da ETE Manheim - Alemanha



Figura 4: Unidade de Recebimento de Lodo Industrial da ETE Manheim - Alemanha

Uma prática que tem sido muito difundida, refere-se ao lançamento de lodo de ETA no sistema de coleta de esgotos sanitários e encaminhamento às ETEs. ZHANG et al (2011) realizaram estudos

em escala laboratorial checando a influência do lançamento de lodo de 5 ETAs (vazão total de 31 m³/s) para 1 ETE (vazão total de 27 m³/s) para o Sistema de Detroit/EUA e concluíram que os impactos do lodo de ETA nos decantadores primários da ETE não seriam significativos, desde que o lançamento fosse feito de maneira contínua. RANYA (2012) estudou a influência do lançamento de lodo de 2 ETAs de Ottawa/Canada (vazão total 13 m³/s) na ETE de ROPEC/Robert O. Pickard Enviromental Centre (vazão operacional de 19 m³/s). Este lançamento de lodo de ETA em base seca representa 9 toneladas por dia de SST. Em 2008, iniciou-se o lançamento de fato do lodo de ETA para a ETE ROPEC, onde forma avaliados os efeitos práticos de redução de consumo de produtos químicos para remoção de fósforo assistida quimicamente, aumento do manto de lodo nos decantadores primários e aumento da umidade após desaguamento, ligeiro decréscimo na qualidade do biogás em termos de concentração de H₂S. Para o sistema de Ottawa, entendeu-se que os impactos foram administráveis e favoráveis no lançamento do lodo das ETAs para a ETE.

No Brasil, a SABESP contratou um estudo de pesquisa do lançamento de Lodo de ETA em ETE para os casos de Franca e da ETA ABV na ETE Barueri, que concluiu favoravelmente em ambos os casos. Cabe salientar, conforme Relatório SABESP (2006), que uma das recomendações realizadas foi a construção de um tanque de equalização de modo a lançar o Lodo da ETA ABV de forma contínua e gradativa no sistema de coleta de esgotos, de forma a evitar problemas nos processos da ETE Barueri. Devido a uma questão de prioridade devido à falta de recursos financeiros, só foi implantado o lodo duto. Assim a descarga de lodo da ETA ABV no sistema de coleta através de um lodo duto até o Interceptor IPI-6 é realizado em batelada. Outra alternativa proposta no estudo seria a própria implantação da remoção mecanizada e contínua de lodo e módulos lamelares. Esta recomendação de equalização do lançamento de lodo

de ETA em ETE é feita por diversos autores, conforme SENA (2011) apud FERREIRA FILHO (1998) e ASCE et al (1996).

Apesar de recomendações favoráveis do lançamento do lodo de ETA em ETE para casos específicos, deve-se atentar para certas premissas técnicas, de modo a não desprezar certas condições operacionais que podem influenciar de forma negativa nesta solução. Por exemplo, de acordo com SABESP (2006), o tempo de esvaziamento de cada decantador da ETA ABV (total de 8 unidades) para retirada de lodo consome 3,75 horas, sendo 2,5 horas para o clarificado e 1,25 horas para o lodo. Assim, todo este lodo acumulado no decantador em 15 dias é descarregado em 1,25 horas no sistema de coleta de esgotos. Do ponto de vista técnico, não é possível prever como se dará este comportamento do lodo de ETA até chegar nos digestores de lodo da ETE Barueri, mas sabe-se que este pulso de carga de sólidos deveria ser equalizado de forma não prejudicar as unidades do sistema de esgotos. A adoção de um sistema mecanizado e contínuo de remoção do lodo da ETA ABV traria como benefício adicional a equalização do lançamento do lodo, o próprio aumento da capacidade hidráulica da ETA, devido a eliminação do tempo de parada de cada decantador, cujo tempo total de parada é de aproximadamente 9 horas por operação.

Além do lodo de ETA, outro material que deveria receber mais atenção, principalmente na fase de concepção de uma ETE, é o lodo de fossa séptica. Este material normalmente já vem devidamente estabilizado e seu recebimento na entrada de uma ETE não contribui para uma estabilização adicional. É mais conveniente instalar uma unidade específica de recebimento de fossa séptica e seu direcionamento fase de desaguamento do lodo, devendo sofrer previamente uma mistura e homogeneização destes materiais.

7 DISCUSSÃO

Historicamente a implantação de Digestores Anaeróbios de Lodo em ETEs de Lodos Ativados Convencionais no exterior sempre se deu com sistemas de aquecimento para a faixa mesofílica de 35° C com o próprio biogás gerado em sistemas com caldeiras, sendo o excedente queimado.

A implantação de sistemas de cogeração com aproveitamento da energia do biogás tem um alto grau de eficiência energética. Nos EUA, a linha base de implantação de um sistema de cogeração já parte com um sistema de aquecimento e isolamento térmico dos digestores anaeróbios, diferente do que ocorre no Brasil, onde não se costuma adotar o aquecimento.

A limitada experiência no aquecimento de digestores anaeróbios de lodo no Brasil desfavorece o compartilhamento de boas práticas de forma mais ampla. Desta pouca experiência, recomenda-se que o aquecimento de lodo nos trocadores de calor seja precedido por uma etapa preliminar de tratamento do lodo de maceração ou gradeamento fino de modo a evitar entupimentos.

Em primeiro lugar ressentem-se de estudos econômicos mais embasados que justifiquem esta prática, já que se entende que apesar dos custos de implantação mais altos, os custos de disposição final do lodo estão em patamares elevados, da ordem de centenas de reais por tonelada.

Esta distorção de concepção de digestores anaeróbios não aquecidos induz a uma falta de gestão operacional, levando a uma negligência em outras etapas do processo de tratamento de esgotos.

Uma destas etapas negligenciadas no Brasil é a previsão adequada do adensamento de lodo na etapa de projeto, principalmente no que se refere ao lodo biológico de descarte, cujo compor-

tamento é de difícil compactação. Ao invés do método por gravidade, tem-se adotado o adensamento mecânico para este tipo de lodo antes de ser enviado aos digestores anaeróbios. A preocupação de se elevar o teor de sólidos do lodo biológico tem como meta diminuir o volume processado, conseqüentemente aumentando o tempo de detenção, bem como diminuindo a demanda energética para aquecimento, aumentando assim a destruição de sólidos voláteis.

Outra etapa negligenciada situa-se na fase de operação propriamente dita de uma ETE, onde deixa-se de checar se produção de biogás é suficiente para fazer o próprio aquecimento do lodo no digestor anaeróbio. E isto acaba pode levar a uma prática de recebimento de todo e qualquer material, deixando-se de se levar em conta se sua contribuição atrapalha ou beneficia a produção de biogás e a destruição de sólidos voláteis, como por exemplo, o lodo de ETA. Ressente-se no Brasil de uma avaliação mais crítica desta prática bem difundida do lançamento de lodo de ETA numa ETE, principalmente em relação aos impactos no balanço energético, bem como na própria produção de lodo.

Já em países como a Alemanha e EUA, o digestor anaeróbio de lodo tem uma posição mais relevante no processo de tratamento de esgotos e tem-se cada vez mais dado atenção como uma unidade de co-processamento, onde recebem outros materiais que contribuem a produção de biogás e não ao contrário do que ocorre no Brasil. Por exemplo, lá fora até mesmo biomassa oriunda de plantações são muitas vezes utilizadas na alimentação destes digestores de lodo.

Outra prática mais sofisticada lá fora com muitas investigações é a quebra da parede celular do lodo biológico de descarte para tornar mais disponível e eficiente a digestão anaeróbia. De acordo com DASSANAYAKE et al (2011), os processos de lise celular para lodo biológico recaem nos seguintes mecanismos: a) pressão e calor; b) pulso de campo elétrico; c) processos químicos e pressão; d) pressão; e) microondas e/ou ultrassom.

Para os processos térmicos, a tecnologias comercialmente disponíveis, bem como as vantagens e desvantagens estão apresentadas no Quadro 7, conforme LONG, BULLARD (2012).

Outros tipos de processos de pré-tratamento do lodo biológico diferentes do térmico estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 7: Comparação Qualitativa das Tecnologias de Pré-Tratamento Térmico do Lodo Biológico

Processo	Vantagens	Desvantagens
Térmico		
Cambi: Hidrólise Térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de patógenos para Lodo Classe A; • Digestor pode operar em alta concentração de sólidos (~10%) devido à reduzida viscosidade; • Aumenta a capacidade do digestor; • Melhora o desaguamento do lodo, a destruição de sólidos e a produção de gás; • Elimina a espuma no digestor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação normalmente limitada a grandes ETEs; • Operação Complexo; • Tanques de aço em alta pressão e aquecidos requerem operadores treinados em sistemas a alta pressão = alto custo; • Inspeções regulatórias e de manutenção requerem várias paradas por ano; • Alto requisito de aquecimento para subir a temperatura a 165°C • Aumento da fração inerte solúvel na clarificado do desaguamento;
BioThelys: Hidrólise Térmica		
Exelys: Hidrólise Térmica Contínua	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de patógenos para Lodo Classe A; • Processo Contínuo; • Efetivo em pequenas e grandes ETEs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto requisito de aquecimento

Fonte: LONG, BULLARD (2012)

Quadro 8: Descrição das tecnologias comercialmente disponíveis de pré-tratamento do lodo secundário antes da digestão anaeróbia do tipo físico, químico e elétrico

Tecnologia/Fabricante	Descrição	Vantagens	Desvantagens
OpenCel/OpenCel, EUA	Tecnologia de pulso de energia, expõe o lodo biológico a explosões de alta tensão entre 20 a 100 microssegundos para lise da membrana celular	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos relativamente baixos de energia • Transmite calor utilizável para lodo secundário • Baixos requisitos de espaço • Operação a baixa pressão 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente novo • Número limitado de instalações na América do Norte • Oferecido somente por 1 fornecedor
Crown Disintegration, Siemens, EUA	Pré-tratamento é aplicado somente a uma parte do lodo secundário, o que inclui trituração e mistura, seguida de pressurização. A alta queda de pressão causa cavitação do lodo e provoca a ruptura da membrana da célula	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia similar oferecida por outros fabricantes • Baixos requisitos de espaço • Aproximadamente em 20 instalações de toda Europa • Pequena área de implementação 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos de energia • Sem instalações na América do Norte • Sistema de alta pressão 1200 kPa com peças de desgaste
Sludge Squeezer, Huber, EUA	Tecnologia proporciona uma alta queda de pressão do lodo secundário num processo de dois estágios. No 1º estágio os flocos de lodo são rompidos mecanicamente. No 2º estágio os flocos são misturados no lodo através de um campo de vazão hidrodinâmico e homogeneizados	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia similar oferecida por outros fabricantes • Baixos requisitos de espaço • Aproximadamente em 3 instalações em toda a Europa 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos de energia • Sem instalações na América do Norte • Sistema de alta pressão 1200 kPa com peças de desgaste
MicroSludge, MicroSludge, Canadá	Pré-tratamento de uma parte do lodo secundário com cal para amaciar a membrana celular, trituração e mistura, seguido de pressurização até 1200 kPa. Após o alívio de pressão, as células são expostas a forças de alto cisalhamento, das quais seriam as responsáveis a ruptura das membranas celulares. O processo inclui gradeamento grosseiro e fino para o lodo adensado e condicionado, respectivamente, bem como de um separador gás líquido para desprender o gás amônia formado em pH alto.	<ul style="list-style-type: none"> • Pequena área de implementação • Redução no custo de desaguamento (polímero e energia elétrica) • Benefício de aumento de temperatura de 7°C do lodo processado • Redução da energia de mistura do digestor devido à redução da viscosidade e volume 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos de energia • Requer adição de cal • Sistema de alta pressão 1200 kPa com peças de desgaste • Sem instalações na América do Norte
Sonolyzer, Ovivo, EUA	Tratamento ultrassônico do lodo secundário, no qual consiste da aplicação de ondas sonoras de alta frequência para o lodo, causando cavitação e desintegração das membranas celulares	<ul style="list-style-type: none"> • Intensos estudos realizados nos últimos 15 anos • Mais de 25 instalações no mundo 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos de energia • Oferecido somente por 1 fornecedor
Desintegração eletrocinética, Sud-Chemie AG, Alemanha	O lodo passa por uma série de tubulações contendo um campo elétrico interno de alta voltagem e à medida que se move, a estrutura celular é enfraquecida e quebrada, o que permite as bactérias digerirem o lodo de forma mais efetiva	<ul style="list-style-type: none"> • Otimiza a digestão • Aumenta a produção de gás • Aumenta a sedimentação do lodo • Várias instalações na Europa 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requisitos de energia • Operação com alta voltagem

Fonte: METCALF & EDDY (2013)

8 CONCLUSÕES

No Brasil, a implantação de sistemas de lodos ativados com digestores anaeróbios de lodo é uma prática pouco difundida, em parte, devido a popularização da tecnologia UASB surgida na Europa na década de 80 e que aqui encontrou condições favoráveis de disseminação.

Tanto a prática operacional como a de projeto dos digestores anaeróbios de lodo merecem ser revistas no Brasil, de forma a incorporar o entendimento de sua função original de processo dentro de uma ETE. No Brasil, após a construção propriamente dita, muitas vezes ressentem-se de uma adequada injeção de recursos orçamentários na manutenção corretiva e preventiva dos equipamentos e instalações nas ETEs. Esta situação é agravada quanto se requer dinheiro novo numa ETE de modo a realizar uma modernização de processo. O que deve ser realçado é que muitas vezes certas readequações em ETEs podem trazer benefícios econômicos significativos em horizontes de tempo relativamente curtos, mas para isto necessitam da injeção de recursos.

Uma das preocupações motivadoras desta Nota Técnica foi procurar um fio condutor que pudesse esclarecer melhor o porquê da alegação da não viabilidade técnico e econômica do uso benéfico de biogás de digestores anaeróbios de lodo no Brasil, mesmo em ETEs de grande escala.

Além dos aspectos meramente econômicos, como as tarifas praticadas, tanto de energia elétrica como dos serviços de saneamento, as taxas de retorno utilizadas nestes estudos, o preço de equipamentos, muitas vezes importados, coube investigar melhor certas práticas adotadas na etapa de projeto, bem como a própria operação dos sistemas de saneamento.

A partir do momento em que se certos fundamentos básicos são desprezados, corre-se o risco de trilhar caminhos cada vez mais tortuosos e dispendiosos no tratamento de esgotos, como se

procurou mostrar na questão da falta de sistema de aquecimento de digestor anaeróbio de lodos. Apesar de estar suficientemente esclarecido nos livros textos desta matéria, no Brasil em várias localidades esta prática foi de certa forma desprezada pelos técnicos do setor.

Tem-se consciência de que seria muita pretensão explicar todos os problemas da não viabilidade técnico e econômica do uso do biogás seriam oriundos de uma causa única. Mas procurou-se subsidiar certas questões um tanto básicas do tratamento de esgotos para um quadro mais amplo e fugir da discussão de certas especialidades.

O fundamento técnico que justifica o aquecimento de lodo na digestão mesofílica é que as velocidades das reações bioquímicas crescem com a temperatura, dobrando a cada 10°C, que é justamente a faixa de temperatura necessária para subir da temperatura do lodo nas condições ambientes até a temperatura na faixa mesofílica. E esta temperatura de operação deve permanecer estável de modo a não prejudicar a digestão anaeróbia, levando a maiores reduções de lodo gerado e reduzindo os custos de disposição final.

No Brasil, a utilização de sistemas de lodos ativados com digestores anaeróbios mesofílicos de lodo é bem pequena. Entende-se que na fase de concepção de projeto, deveria haver uma preocupação maior na fase sólida de tratamento, com a inclusão de dispositivos adequados, como por exemplo, adensamento mecânico do lodo biológico, sistema de aquecimento dos digestores anaeróbios de lodo, gasômetro, sistema de medição e controle de vazão e qualidade do biogás, sistema de queima completa do Biogás. Esta preocupação prévia na concepção de digestores anaeróbios pode também levar a adoção de novas tecnologias que beneficiem e façam o uso benéfico do Biogás, como por exemplo, dos dispositivos de lise celular do lodo biológico. E levando-se em conta o uso benéfico do Biogás, como por exem-

plo através da cogeração de energia elétrica e reaproveitamento do calor, pode-se reavaliar os impactos do ponto de vista econômico da prática de lançamento de lodo de ETA, de forma equalizada, na ETE.

Os estudos envolvendo processos térmicos devem ter bem definidos os limites do volume de controle, de modo a fazer os balanços energéticos e de massa. Somente a partir desta definição pode-se inferir de modo mais objetivo certas questões técnicas e econômicas, como a menor geração de lodo a partir do aquecimento mesofílico.

Outra carência comum no setor de saneamento é a falta de dados reais de medição de volumes gerados e qualidade do biogás. Como é a alternativa mais comum de disposição final é a simples queima em flare, não há uma real preocupação de se instalar medidores, bem como calibrar estes dispositivos ao longo da etapa operacional. Estas informações técnicas obtidas através de medidores são essenciais para qualquer estudo de viabilidade técnico e econômica. Trabalhar com meros dados estimativos, acarreta implica em maiores riscos nos investimentos.

REFERÊNCIAS

DASSANAYAKE, C. Y. SMITH Jr, J.E.; AUERBACH, E.; OSTAPCZUK, R. **When does use of waste activated sludge (WAS) lysis make sense?** Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2011: Session 11 through Session 20, pp. 696-707(12), 2011.

CHP, EPA. **Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities:** Market Analysis and Lessons from the field, 2011.

LAWLER, F.L; CHUNG, Y.J; HWANG, S.J; HULL. B.A. **Anaerobic Digestion:** Effects on Particle Size and Dewaterability, Journal (Wa-

ter Pollution Control Federation), Vol. 58, No. 12 (Dec., 1986), pp. 1107-1117.

LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. *TRENDS in Biotechnology* Vol.19, nº09, p.363-370, Sept 2001.

LONG.; J. H.; BULLARD, C.M. **WAS Pretreatment to Boost Volatile Solids Reduction and Digester Gas Production** – Market and Technology Assessment Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2012: Session 11 through Session 20, pp.980-998(19), 2012.

METCALF & EDDY, **Wastewater Engineering,** Treatment and Resource Recovery, 5th Edition, Mc Graw-Hill Education, 2013.

RANYA, S. **The full-scale impact of water treatment alum sludge on municipal wastewater treatment.** Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2012: Session 1 through Session 10, pp. 399-409, 2012.

SABESP, **Relatório Estudo de viabilidade técnica e econômica para o lançamento do Lodo da ETA ABV na ETE Barueri, Contrato CSS nº 27.687-01 A:** Prestação de serviços técnicos especializados para o Programa de Disposição de Lodos em Estações de Tratamento de Água em Estações de Tratamento de Esgotos, JNS Engenharia, Consultoria e Gerenciamento S/C Ltda, São Paulo, 2006.

SENA, H.C. **Recebimento de lodo de ETA em ETE por lodo ativado operando com mídia plástica no tanque de aeração (MBBR).** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia, 2011.

QASIM, S.; R. **Wastewater Treatment Plants,** Planning, Design and Operation. 2nd Edition, Technomic Publishing, 1999.

WANG, L. K.; SHAMMAS, N.K.; HUNG, Y. **Biosolids treatment processes,** Handbook of Environmental Engineering, Volume 6, Humana Press, 2007.

WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION, **Solids Process Design and Management,** Mc Graw Hill, 2012.

ZHANG, X.; HROMADA, T.; RICHARDS, J. **A new approach to handle alum sludge from water treatment plants:** will continuous disposal of alum sludge affect wastewater operation? Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2011: Session 1 through Session 10, pp. 391-399, 2011.