



Vol. 2, No. 1, 108-124, 2009
ISSN 0718-378X

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DIGESTÃO ANAERÓBIA OU ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA COMO DECIDIR?

Manuel Osvaldo
Senra Álvares da Silva ¹

*Anaerobic digestion or chemical stabilization
how to select?*

ABSTRACT

Sewage Treatment Plant (STP) Sludges need stabilization before final disposal. The present paper compares two sludge treatment processes: Anaerobic digestion and chemical stabilization using lime. Features such as initial investments, energy costs, operating personnel, sludge disposal, maintenance and chemicals were compared for the sludge output of a 3.300 L/s. Conventional Activated Sludge Treatment Plant treating domestic sewage flow. Careful consideration has been given to the following items before process selection:

- Initial investment costs
- Treatment process characteristics
- Daily quantities of sludge to be treated

Keywords: Chemical stabilization, anaerobic digestion.

¹ Eng^o Químico e Sanitarista pela EEUFMG - Consultor para projetos de Tratamento de esgotos e Supervisão Operacional de ETEs. Diretor da ALE Arquitetura e Engenharia Ltda.

DIGESTÃO ANAERÓBIA OU ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA COMO DECIDIR?

Manuel Osvaldo Senra Álvares da Silva

Engº Químico e Sanitarista pela EEUFMG - Consultor para projetos de Tratamento de esgotos e Supervisão Operacional de ETEs.

Diretor da ALE Arquitetura e Engenharia Ltda

Contact Av. Raja Gabaglia 4859, sala 206

Santa Lucia Belo Horizonte- MG Cep: 30360 670

Tel: (31) 32861055; e-mail: ale.bhz@terra.com.br

Resumo

O lodo originado das Estações de Tratamento de Esgoto deverá ser estabilizado antes de sua disposição final. O presente trabalho faz uma comparação entre dois processos para o tratamento do lodo: digestão anaeróbia e estabilização química com cal. Foi feita uma avaliação entre estes processos para uma ETE de lodos ativados com vazão média de 3.300 L/s. Foram pesquisados os custos de investimentos e os custos operacionais de pessoal, produtos químicos, energia elétrica, manutenção e disposição final para cada um dos processos. A definição entre eles dois processos deverá levar em conta os valores disponíveis para os investimentos iniciais, o tipo de processo de tratamento e o volume de lodo gerado no tratamento.

Palavras-chave: Estabilização química, digestão anaeróbia.



Considerações gerais

Durante o desenvolvimento do projeto de uma Estação de Tratamento de Esgoto a tecnologia do tratamento do lodo deve ocupar um lugar de especial destaque.

A escolha ou seleção da melhor alternativa do processamento do lodo ou biosólidos deverá levar em consideração a quantidade de lodo que será gerada, a disposição final do mesmo, a localização da ETE e o volume de recursos financeiros disponíveis para o início das obras.

Coube-me, neste IV Simpósio Interamericano de Biosólidos, dentro do painel: As tendências modernas em tratamento de lodo e produção de biosólidos discorrer sobre o tema: Digestão anaeróbia ou estabilização química- como decidir?

Ambos processos tem o mesmo objetivo que é o da estabilização da matéria orgânica (sólidos voláteis) do lodo bruto, reduzindo a geração de maus odores e a concentração de microorganismos patogênicos.

Lodo bruto	Lodo estabilizado	
Lodo primário	Estabilização	Biológica <ul style="list-style-type: none"> • Digestão Anaeróbia • Digestão Aeróbia
Lodo biológico (secundário)		Química <ul style="list-style-type: none"> • Adição de produtos químicos (cal)
Lodo misto (primário + secundário)		Térmica <ul style="list-style-type: none"> • ação de calor
 <ul style="list-style-type: none"> • Alta concentração de matéria orgânica biodegradável • Geração de maus odores • Elevadas concentrações de microorganismos patogênicos 	 <ul style="list-style-type: none"> • Baixa concentração de matéria orgânica biodegradável • Geração de odores suportáveis • Baixas concentrações de microorganismos patogênicos 	

O que ocorre na digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico que estabiliza a matéria orgânica contida no lodo dos esgotos pela ação de microorganismos, num ambiente fechado e na ausência de ar. É um processo lento que necessita para seu desenvolvimento de determinadas condições de temperatura, concentração de sólidos, homogeneização e de certos equilíbrios físico-químicos.

A digestão anaeróbia tem como principais objetivos:

- Reduzir a quantidade de sólidos contidos no lodo bruto pela liquefação e gaseificação de parte dos mesmos. Uma porção da matéria orgânica é transformada em metano (CH₄), gás carbônico (CO₂) e água (H₂O).
- Promover a redução da concentração de microorganismos patogênicos presentes no lodo bruto.

- Transformar um material fétido, de natureza ofensiva, em outro de características inofensivas, estabilizando a matéria orgânica para que ela não exerça demanda de oxigênio.
- Permitir que a água contida no lodo bruto se separe mais facilmente do lodo digerido nos processos da desidratação.

A fig. 1. A seguir mostra, de maneira simplificada e didática, o que se passa no digester anaeróbio considerando:

- Redução de 50% de sólidos voláteis no processo da digestão
- Produção de 500 Litros de biogás por kg de sólidos voláteis afluentes ao digester.

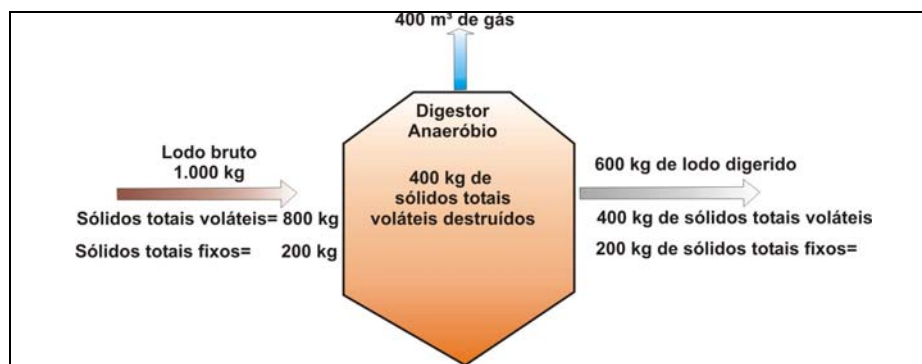


Figura 1 - Redução de sólidos no digester anaeróbio

O que ocorre no processo de estabilização química com cal

A estabilização química com cal, também conhecida como estabilização alcalina pode ser empregada para tratar lodos primários, secundários ou digeridos em seus estados líquidos ou desidratados.

Quando adicionado ao lodo, a cal virgem (CaO) aumenta o seu pH para 12, ocorrendo uma elevação da temperatura devido a uma reação exotérmica, tornando o ambiente hostil aos microorganismos patogênicos. A concentração de sulfeto de hidrogênio, gás fétido dissolvido no lodo, à medida que o pH aumenta pela adição da cal, o H₂S vai se reduzindo chegando a zero, a partir do pH=9.

Estes são os dois principais fenômenos que ocorrem na estabilização alcalina: redução na população de microorganismos e do potencial de ocorrência dos maus odores.

Dois outros fatores a serem considerados quando se compara a digestão anaeróbia com a estabilização alcalina é que no primeiro processo, ocorre uma redução na concentração de

sólidos totais voláteis, enquanto no segundo processo tal fato não acontece, mas devido à adição de cal a quantidade de lodo a ser disposta aumenta.

Resultados da redução de bactérias no lodo primário bruto e após a estabilização alcalina com cal em pH 12 em Estação de Tratamento de Esgotos em Lebahon (Ohio) são mostrados no Quadro I a seguir:

Quadro I Características do lodo

Características do lodo	NMP/100 mL				
	Coliformes totais	Coliformes fecais	<i>Estreptococos fecais</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Pseudomonía aeruginosa</i>
Lodo primário bruto	$2,9 \times 10^9$	$8,3 \times 10^8$	$3,9 \times 10^7$	62	195
Lodo primário estabilizado com cal-pH=12	$1,2 \times 10^5$	$5,9 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$	< 3	< 3

Os resultados das análises microbiológicas na Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia em 2007 mostraram os seguintes valores que são apresentados no Quadro II.e III:

Quadro II Resultados bacteriológicos médios (janeiro à julho de 2007)

Parâmetros/unidades	Torta sem cal	Torta com cal (após 2 horas)
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mg)	$2,34 \times 10^7$	2,14

Fonte: Análises realizadas no laboratório de esgoto da Saneago.

Quadro III Resultados bacteriológicos médios (janeiro à julho de 2007)

Parâmetros/unidades	Torta sem cal	Torta com cal (após 2 horas)
Ovos de helmintos (ovos/g de MS*)	4,93	0,51

Fonte: Análises realizadas no laboratório de esgoto da Saneago.

*MS- massa seca

Comparação entre a digestão anaeróbia e a estabilização alcalina com cal virgem, do lodo bruto de um processo de lodo ativado convencional de uma ete com vazão média de 3.307 l/s (população 1.382.000 habitantes).

A fig. 2 mostra o diagrama dos dois processos de estabilização do lodo

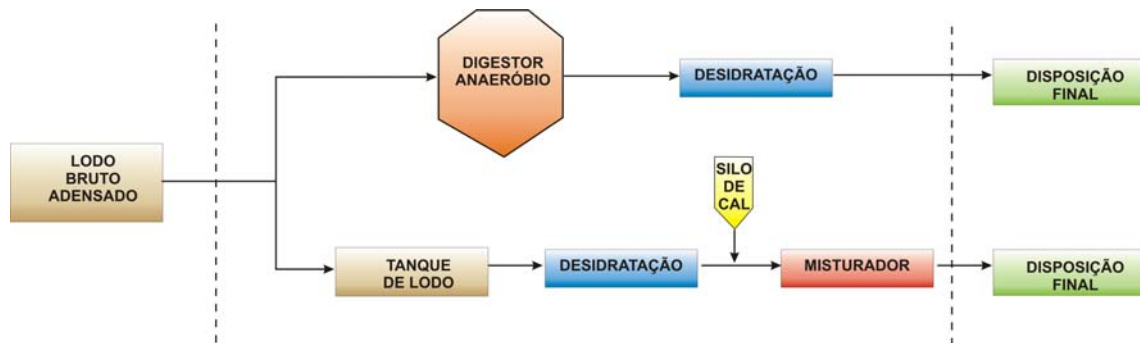


Figura 2 - Comparação entre a digestão anaeróbia e a estabilização alcalina com cal virgem

- Quanto às unidades do processo Quadro IV
- Quanto ao controle operacional da estabilização Quadro V
- Quanto ao volume diário de lodo Quadro VI
- Quanto às áreas de ocupação da ETE Quadro VII
- Quanto à rotina de controle operacional Quadro VIII
- Quanto aos custos de produtos químicos Quadro IX
- Quanto ao custo de energia no Quadro X
- Quanto ao custo de pessoal Quadro XI
- Quanto ao custo de manutenção eletromecânica Quadro XII
- Quanto ao custo da disposição final em áreas degradadas Quadro XIII

Quadro IV Comparação quanto às unidades de processo

Unidades de Processo	Processo de estabilização	
	Digestão anaeróbia	Estabilização com cal
Tratamento Preliminar	sim	sim
Decantadores Primários	sim	sim
Reatores Aeróbios	sim	sim
Decantadores Secundários	sim	sim
Adensadores de lodo primário	sim	sim
Adensadores de lodo secundário	sim	sim
Digestores primários	sim	não
Digestor secundário	sim	não

Tanque de acúmulo de lodo	não	sim
Sistema de desidratação	sim	sim
Silo de cal virgem	não	sim
Sistema misturador de cal	não	sim
Sistema de biogás	sim	não

Quadro V Quanto ao controle operacional do processo de estabilização

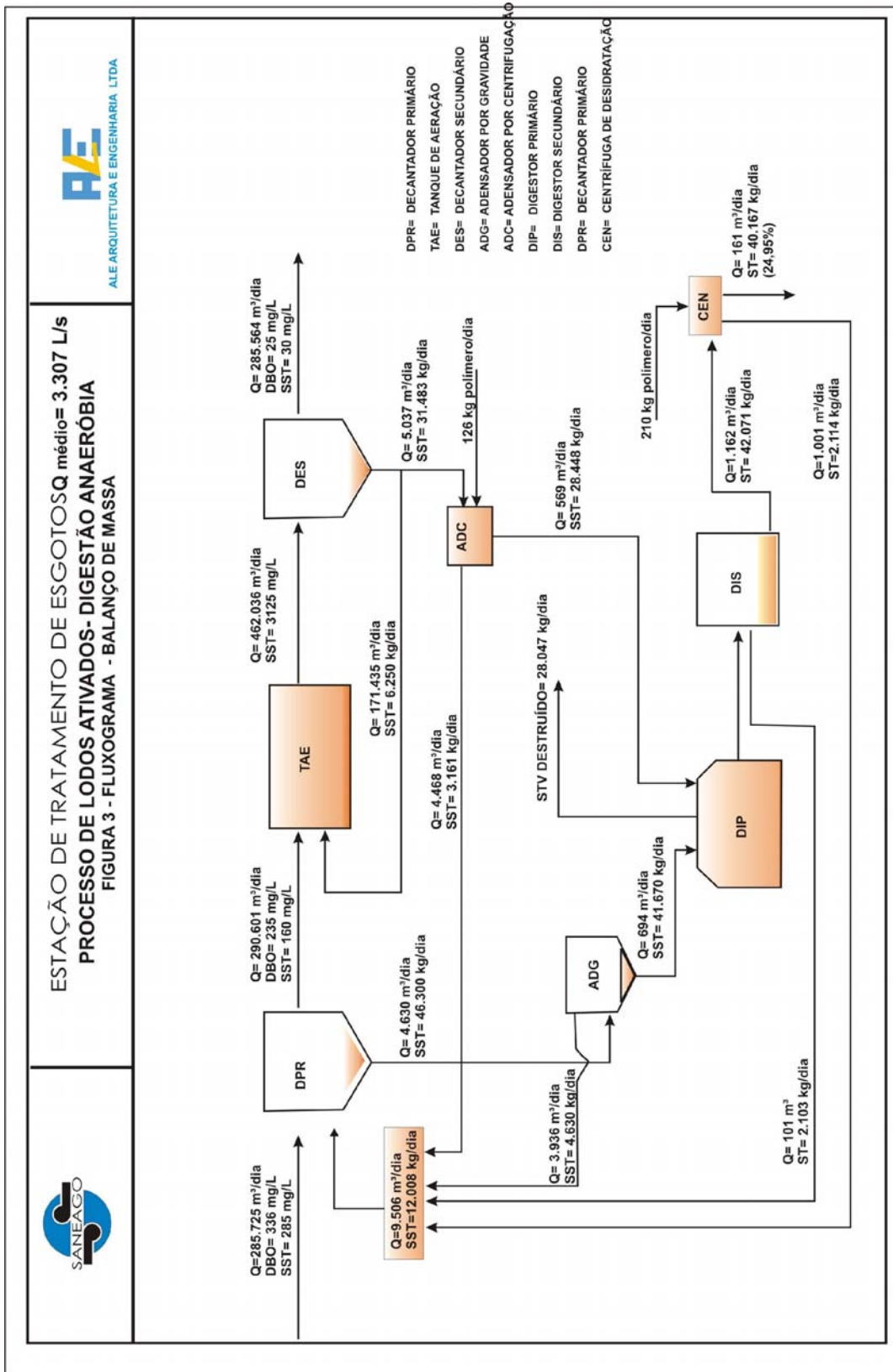
Análises de controle operacional	Digestão anaeróbia	Estabilização com cal
Volume diário de lodo primário adensado	sim	sim
Volume diário de lodo secundário adensado	sim	sim
Sólidos totais voláteis nos lodos adensados	sim	não
Sólidos totais no lodo digerido	sim	não
Sólidos totais no lodo misto	não	sim
pH do lodo em digestão	sim	não
Ácidos voláteis do lodo em digestão	sim	não
Alcalinidade total do lodo em digestão	sim	não
Sólidos totais voláteis no lodo digerido	sim	não
Sólidos totais no lodo desidratado	sim	sim
pH do lodo desidratado	não	sim
pH do lodo após alcalinização	não	sim
Patogênicos no lodo bruto	sim	sim
Patogênicos no lodo estabilizado	sim	sim
Concentração de metano e CO ₂ no biogás	sim	não

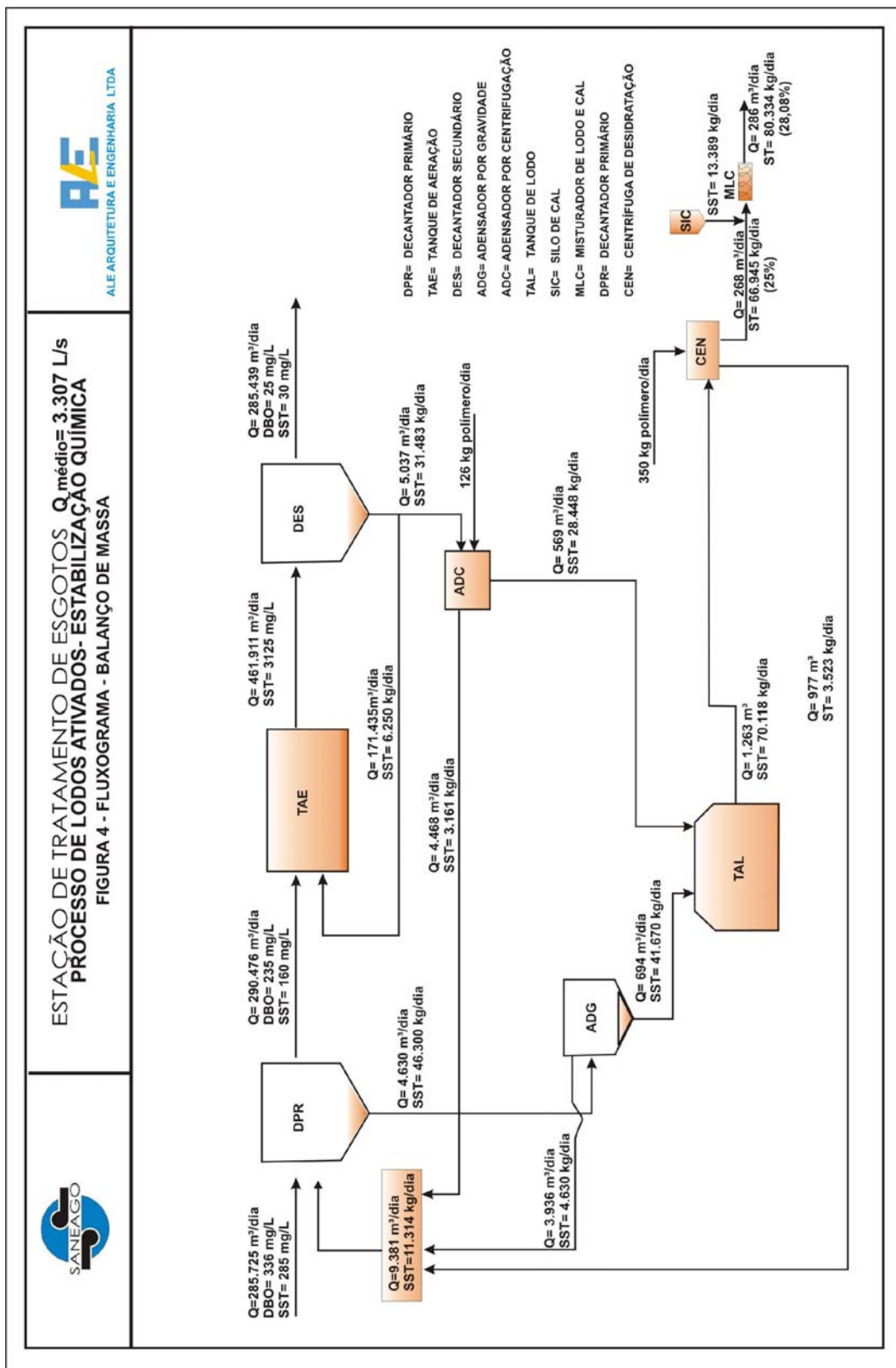
Com relação ao volume diário de lodo gerado no processo, o Quadro VI mostra que a estabilização química com cal gera um volume diário de 107 m³ a mais que no processo de digestão anaeróbia, ou seja, 77,64%.

Tal fato é facilmente explicável porque na estabilização química com cal não ocorre a redução dos sólidos totais voláteis, havendo ainda o acréscimo em peso de cerca de 20% dos sólidos totais de lodo devido à adição da cal virgem. Os balanços de massa de cada um dos processos são mostrados nos fluxogramas – FIG.3. (digestão anaeróbia) e FIG.4 (estabilização química).

Quadro VI Volumes diários de lodo

Volume de lodo desidratado (m ³ /dia)	
Digestão anaeróbia	Estabilização química
161 (24,95% ST)	286 (28,00% ST)





Com relação às áreas ocupadas pelas unidades de tratamento, o Quadro D mostra o acréscimo das áreas quando se compara a digestão anaeróbia e a estabilização alcalina com cal para uma ETE de vazão média de 3.307 L/s. (1.382.000 hab). Observa-se pelo Quadro VII, que a única diferença de área está na construção dos digestores e do sistema de estabilização química.

Quadro VII Quanto às áreas necessárias para a estabilização

Unidades de tratamento	Digestão Anaeróbia	Estabilização Alcalina
Tratamento Preliminar	igual	igual
Decantação Primário	Igual	Igual
Tanques de Aeração	Igual	Igual
Decantadores secundários	Igual	Igual
Adensador por gravidade (lodo primário)	Igual	Igual
Adensador por centrífuga (lodo secundário)	Igual	Igual
Centrífugas para desidratação (variam as capacidades)	Igual	Igual
Área para estabilização química	-	300 m ²
Área para digestão do lodo	4.500 m ²	-

O Quadro. VIII resume as principais atividades de rotina para o controle dos processos de digestão anaeróbia e estabilização química com cal.

Quadro VIII Quanto às atividades para o controle operacional da estabilização

Digestão anaeróbia	Estabilização química
<p>Análise físico químicas diárias</p> <ul style="list-style-type: none"> Sólidos totais voláteis dos lodos primário e secundário adensados Sólidos totais voláteis de lodo digerido pH dos lodos adensados pH do lodo digerido Acidez volátil de lodo digerido Alcalinidade total de lodo digerido Relação acidez/alcalinidade Concentração do lodo digerido Concentração da torta <p>Análises bacteriológicas mensais</p> <ul style="list-style-type: none"> Concentração de ovos de helmintos e bactérias no lodo bruto e no lodo digerido 	<p>Análises físico química diárias</p> <ul style="list-style-type: none"> Sólidos totais no lodo misto pH do lodo misto Concentração da torta pH da torta após adição de cal <p>Análises bacteriológicas mensais</p> <ul style="list-style-type: none"> Concentração de ovos de helmintos e bactérias no lodo misto (lodo bruto), no lodo desidratado antes da cal e após a adição da mesma.

<p>Controles operacionais diversos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volume de lodo adensado (m³/dia) • Carga de sólidos totais voláteis (kgSTV/dia) • Dosagem de polímero no adensamento • Dosagem de polímero na desidratação • Pesagem de lodo desidratado • Produção de biogás (m³/dia) 	<p>Controles operacionais diversos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volume de lodo misto (m³/dia) • Dosagem de polímero no adensamento • Dosagem de polímero na desidratação • Dosagem de cal na torta desidratada • Pesagem do lodo desidratado <p>Controles periódicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aferição da curva de dosagem de cal.
---	---

Custos de produtos químicos

Tanto a desidratação do lodo digerido anaerobicamente como a do lodo bruto na estabilização química necessitam de adição de cerca de 5 kg de polímero catiônico para cada tonelada de sólidos totais (peso seco), afluentes à centrífuga. Do mesmo modo, este polímero é consumido também no adensamento de lodo biológico excedente.

A estabilização alcalina do lodo bruto adensado, consome aproximadamente 200 kg de cal por tonelada de sólidos secos da torta desidratada (20% em peso).

Para o exemplo das FIG. 3 (digestão anaeróbia) e FIG. 4 (estabilização alcalina), os custos mensais dos produtos químicos para uma vazão média de esgoto bruto de 3.307 L/s seriam a preços de julho/2008:

Digestão anaeróbia - Adensamento de lodo biológico (polímero)

126 kg/dia x R\$ 8,00/kg x 30 dias= R\$ 30.240,00/mês

Digestão anaeróbia - Desidratação (polímero)

210 kg/dia x R\$ 8,00/kg x 30 dias= R\$ 50.400,00/mês

Estabilização alcalina - Adensamento do lodo biológico (polímero)

126 kg/dia x R\$ 8,00/kg x 30 dias= R\$ 30.240,00/mês

Estabilização química – Desidratação (polímero)

350 kg/dia x R\$ 8,00/kg x 30 dias= R\$ 84.000,00/mês

Estabilização química – caleação (adição de cal virgem)

13.389 kg/dia x R\$ 0,32/kg x 30 dias= R\$ 128.534,00/mês

Quadro IX Custos dos produtos químicos

Custo mensal de produtos químicos (R\$/mês)	
Digestão anaeróbia	Estabilização química
80.640,00	242.774,00

Consumo e custo mensal de energia elétrica

Digestão anaeróbia

- Equipamentos, não comuns às duas alternativas

Equipamentos	N° de conjuntos (unid)	Potência instalada (kw)	Horas diárias de operação (h)	Potência por equipamento operando (kw)	Consumo diário (kwh/dia)	Consumo mensal (kwh/mês)	Custo mensal energia R\$/mês
Bombas de homogeneização dos digestores	04	368	72	92	6.624	198.720	57.628,80
Centrífugas da desidratação	03	150	32	50	1.600	48.000	13.920,00
Bombas da desidratação	03	66	32	22	704	21.120	6.124,80
Sistema de polímero	01	03	32	03	96	2880	835,20

Estabilização Química

Equipamentos	N° de conjuntos (unid)	Potência instalada (kw)	Horas diárias de operação (h)	Potência por equipamento operando (kw)	Consumo diário (kwh/dia)	Consumo mensal (kwh/mês)	Custo mensal energia R\$/mês
Misturador do tanque de lodo	02	22	24	11	264	7.920	2.296,80
Centrífuga da desidratação	03	150	34	50	1.700	51.000	14.790,00
Sistema de cal	02	30	34	15	510	15.300	4.437,00
Bombas da desidratação	03	66	34	22	748	22.440	6.507,60
Sistema de polímero	01	03	34	03	102	3.060	887,40

Quadro X Custos mensais de energia elétrica

Custo mensal de energia elétrica (R\$/mês)	
Digestão anaeróbia	Estabilização química
77.173,60	28.031,40

Custos de pessoal

Para o processo de digestão e desidratação assim como para o processo de estabilização química com cal as equipes operacionais serão idênticas e constituídas de 1 operador de ETE e 1 auxiliar de operação.

Salários mensais com leis sociais

Operador de ETE:	R\$ 2.200,00
Auxiliar de operação:	<u>R\$ 1.600,00</u>
Custo mensal:	R\$ 3.800,00

Quadro XI Custo de pessoal

Custo mensal de pessoal (R\$/mês)	
Digestão anaeróbia	Estabilização química
3.800,00	3.800,00

Custos de manutenção eletro mecânica

O índice de custo de manutenção eletromecânica corresponde a 3% ao ano do custo de investimento.

Digestão anaeróbia:	investimento=	R\$ 37.840.911,00
	Custo anual de manutenção=	R\$ 1.135.227,30

Estabilização química:	investimento:	R\$ 10.184.373,00
	Custo anual de manutenção=	R\$ 305.531,20

Quadro XII Custo de manutenção eletromecânica

Custo mensal de manutenção eletromecânica (R\$/mês)	
Digestão anaeróbia	Estabilização química
94.602,28	25.460,93

Custo mensal da disposição final em áreas degradadas

Custo do transporte e disposição no terreno a 35 km da ETE

R\$ 45,00/ton (preço julho 2008)

Digestão anaeróbia

161 m³/dia x 1,02 ton/m³ x R\$ 45,00/ton x 30 dias= R\$ 221.697,00/mês

Estabilização química

286 m³/dia x 1,02 ton/m³ x R\$ 45,00/ton x 30 dias= R\$ 393.822,00/mês

Quadro XIII Custo da disposição final em Áreas degradadas.

Digestão anaeróbia (R\$/mês)	Estabilização química (R\$/mês)
221.697,00	393.822,00

Resumo dos custos operacionais anuais

Os custos operacionais anuais são apresentados no Quadro XIV.

Quadro XIV Custos operacionais anuais

Processo	Custo de energia (R\$/ano)	Custo de pessoal R\$/ano	Custo de produtos químicos R\$/ano	Custos de manutenção R\$/ano	Custo de transporte e disposição de lodo R\$/ano	Total dos custos operacionais R\$/ano
Digestão anaeróbia	906.105,60	45.600,00	967.680,00	1.135.227,30	2.660.364,00	5.714.976,90
Estabilização química	347.025,60	45.600,00	2.913.288,00	305.531,20	4.725.864,00	8.337.308,80

Comparação dos custos a valor presente

Período= 20 anos

Juros= 12% ao ano

Digestão anaeróbia

Custo do investimento= R\$ 37.840.911,00

P= custo operacional a valor presente = R\$ 42.687.697,00

Valor presente total= custo de investimento + valor presente de custos operacionais

Valor presente= R\$ 37.840.911,00 + R\$ 42.687.697,00

Valor presente= R\$ 80.528.608,00

Estabilização química

Custo do investimento= R\$ 10.184.373,00

P= custo operacional a valor presente R\$62.275.057,00

Valor presente total= custo de investimento + valor presente de custos operacionais

Valor presente= R\$ 10.184.373,00 + R\$ 62.275.057,00

Valor presente= R\$ 72.459.430,00

Fotos dos processos



Vista da área de processamento do lodo com estabilização química com cal
ETE Goiânia - GO

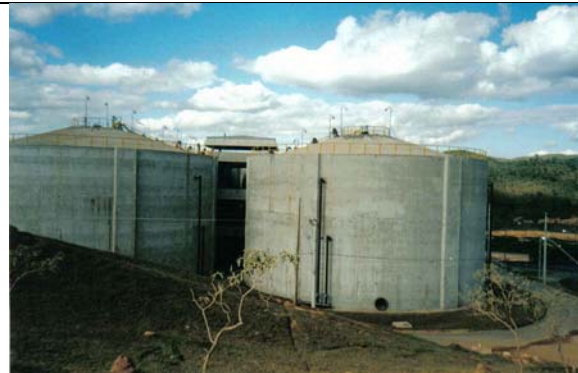
Parafuso transportador de lodo desidratado, parafuso transportador de cal virgem e misturador .





Descarga do lodo desidratado e descarga de cal no misturador.

Vista geral dos digestores anaeróbios
ETE Arrudas-
Belo Horizonte - MG



Conclusão

- Sob o ponto de vista apenas econômico a estabilização química com cal é mais vantajosa quando se compara processos idênticos de tratamento.
- Sob o ponto de vista operacional a estabilização química com cal promove a remoção do lodo da ETE no mesmo dia que ele é gerado. A digestão anaeróbia requer uma operação mais controlada durante cerca de 25 dias de permanência do lodo dentro dos digestores.
- Todavia, a estabilização química em termos ambientais gera maus odores no manuseio do lodo primário, a menos que o processo de sedimentação deste lodo seja através de precipitação química com sais de ferro capazes de reduzir os maus odores.
- Por produzir maiores quantidades de lodo desidratado a estabilização química exige maior custo operacional para transporte e disposição do lodo.
- O volume de esgoto a ser tratado (grandes ETEs) que geram quantidades elevadas de lodo desidratado, poderá ser marco decisório em favor da digestão anaeróbia quando o manuseio de toneladas diárias de cal e a produção excessiva de lodo desidratado torna difícil a logística operacional do tratamento do lodo.
- Para ETEs cujo lodo é exclusivamente aeróbio (exemplo da ETE Lavapés- São José dos Campos) não gerando problemas ambientais e cujo volume de lodo desidratado é de

pequeno porte a opção de estabilização química com cal torna-se extremamente atraente.

- Concluindo, podemos dizer que os diversos fatores que conduzem ao processo decisório entre digestão anaeróbia e estabilização química estão relacionados a:
 - Disponibilidade inicial de recursos de investimento
 - Processo de tratamento utilizado
 - Volume de lodo gerado na ETE.

Referências bibliográficas

- Environmental Protection Agency - EPA. *Process design manual: sludge treatment and disposal*. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, 1979. v. 2.
- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.
- Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, c2003. 1819 p. (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering).
- Sant'Anna, M. P.; Silva, M. O. S. A.; Silva, M. F. Ete. Goiânia: tratamento primário quimicamente assistido: eficiência e caracterização do lodo. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2007.
- Silva, M. O. S. A. Tratamento de lodos de esgotos por digestão anaeróbia. In: Simpósio Latino Americano Sobre A Produção De Biogás A Partir De Resíduos Orgânicos, 1., 1982, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SABESP, [1982]. p. 1-34.
- Silva, A .V.A. Avaliação do adensamento de lodo da ETE Arrudas – MG (lodos ativados convencional). In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. *Anais eletrônicos*. Rio de Janeiro: ABES, 2007. p. 1–6.
- Von Sperling, M.; Gonçalves, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: Andreoli, C. V.; Von Sperling, m.; Fernandes, F. (Org.) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).
- Water Environment Federation – WEF. *Design of municipal wastewater treatment plants*. Alexandria, VA: Water Environment Federation; New York, NY: American Society of Civil Engineers, 1990. (WEF manual of practice, n. 11). (ASCE manual and report on engineering practice).