

Aproveitamento de Biogás e Lodo em Pequenas Etes: Estudo de Caso em Catas Altas

Use of Biogas and Waste in Small Plant: Case Study in Catas Altas

DOI:10.34117/bjdv7n6-726

Recebimento dos originais: 30/05/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Luciano Albuquerque Rosa Junior

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Karoline Rodrigues Costa

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Lucas Martins Machado

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Déborah Melo

Engenheira Bioenergética pela FUMEC. Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Cláudio Leite de Souza

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

RESUMO

Diante da necessidade de ampliação do tratamento de esgoto no Brasil, a definição do fluxograma da ETE é uma etapa fundamental que pode determinar potenciais maiores ou menores de sustentabilidade e atratividade do tratamento de esgoto de forma integrada na comunidade de entorno. Nessa perspectiva, tem-se discutido muito sobre o biogás e lodo de esgoto no sentido de agregar valor às ETEs em seu ciclo de vida.

O presente trabalho teve como intuito realizar avaliação de potenciais de aproveitamento de recursos (biogás e lodo) do tratamento de esgoto para o caso de uma cidade em Minas Gerais com população próxima a 5 mil habitantes. Baseando-se em uma ETE já implantada e na necessidade de ampliação da mesma, foram desenvolvidos cálculos para análise de potenciais comparativos de diferentes cenários de aproveitamento energético do biogás e uso do lodo na agricultura.

As análises apresentadas mostraram que, dentre os cenários estudados, o sistema composto por reator UASB e Filtro Anaeróbio se mostrou mais adequado para aproveitamento e integração dos subprodutos do tratamento, sobretudo em comparação a sistema com reator UASB e Lodos Ativado. O potencial de geração de energia através do

biogás para esse melhor cenário foi, para o ano de 2016, de cerca de 5.000 KWh, acumulado durante 14 dias, o que seria suficiente para alimentação de um leito higienizador para converter todo o lodo também acumulado e desidratado nesse mesmo período. Como resultado, estimou-se a produção de lodo em cerca de 3 m³ para serem dispostos, com a possibilidade de aplicação como adubo já plenamente higienizado.

Palavras-chave: tratamento de esgoto, lodo, biogás, leito higienizador, reator UASB, metano.

ABSTRACT

In view of the need to expand sewage treatment in Brazil, the definition of the WWTP flowchart is a fundamental step that can determine greater or lesser potentials for sustainability and attractiveness of sewage treatment in an integrated manner in the surrounding community. In this perspective, much has been discussed about biogas and sewage sludge in order to add value to the WWTPs in their life cycle.

The present work aimed to evaluate the potential of resource use (biogas and sludge) of sewage treatment for the case of a city in Minas Gerais with a population close to 5,000 inhabitants. Based on an already implemented sewage treatment plant and the need for its expansion, calculations were developed to analyze the comparative potentials of different scenarios for the energetic use of biogas and the use of sludge in agriculture.

The analyses presented showed that, among the scenarios studied, the system composed of UASB reactor and anaerobic filter proved to be more suitable for the use and integration of the by-products of the treatment, especially in comparison to the system with UASB reactor and activated sludge. The potential energy generation through biogas for this best scenario was, for the year 2016, about 5,000 KWh, accumulated during 14 days, which would be enough to feed a hygienization bed to convert all the sludge also accumulated and dewatered in the same period. As a result, the sludge production was estimated at about 3 m³ to be disposed, with the possibility of application as fertilizer already fully sanitized.

Keywords: sewage treatment, sludge, biogas, sanitizing bed, UASB reactor, methane.

1 INTRODUÇÃO

Em praticamente todas as análises de alternativas de tratamento no Brasil, incluem-se os reatores UASB (anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), como uma das principais opções. Porém, mesmo em meio a vantagens e difundida utilização, os reatores UASB ainda apresentam alguns desenvolvimentos necessários (CHERNICHARO e STUETZ, 2008).

Segundo Lobato (2011), o acúmulo do lodo em reatores UASB pode provocar uma perda excessiva de sólidos com o efluente tratado. Por esse motivo o descarte desse lodo excedente deve ser feito frequentemente. O lodo excedente dos reatores UASB, embora já se encontre estabilizado, ainda necessita das etapas de desidratação e, eventualmente, de higienização em caso de uso agrícola, devido à presença de patógenos.

Mesmo com a desidratação natural, a secagem térmica do lodo surge como uma possibilidade de se alcançar conjuntamente a redução da umidade e higienização, para possibilitar efetivamente o seu uso agrícola. O consumo de combustível, muitas vezes, é o principal custo operacional dos sistemas de secagem térmica, sendo que a utilização de fontes alternativas, como a recuperação energética do biogás oriundo de reatores anaeróbios, pode promover a viabilidade do sistema.

Segundo Chernicharo *et. al.*, (2015), para o cenário de cidade pequenas de até 10.000 habitantes, indicam-se como opções de sustentabilidade e aproveitamento de subprodutos das ETE, a combustão/queima direta do biogás com recuperação de energia térmica. Esta seria a alternativa mais simples e de melhor custo-benefício. Adicionam que essa geração de energia térmica poderia ser usada a partir de aquecedores para secar e higienizar o lodo descartado dos reatores anaeróbios. O lodo seco, por sua vez, viria representar uma importante fonte de nitrogênio que poderia ser usada para fins agrícolas.

Efetivamente, uma das formas de se realizar a higienização do lodo é a partir da secagem térmica. A higienização do lodo garante um baixo índice de patogenicidade, que além de diminuir os riscos à saúde de trabalhadores que eventualmente possam ter contato com o lodo, pode também ser utilizado como fonte de bio sólido para a agricultura (VON SPERLING, 2005). Ainda que hajam custos relacionados à disposição para o uso agrícola, como o tratamento por higienização e o transporte, Canziani *et al.* (1999) afirmam que essa alternativa deve ser relevante, uma vez que o ganho socioambiental da reciclagem do lodo de esgoto tende a superar os gastos a ela relacionados.

Assim, no contexto de sustentabilidade e aproveitamento de recursos, para pequenas cidades de 5 a 10 mil habitantes, o aproveitamento de subprodutos do tratamento de esgoto pode vir a ser uma alternativa muito interessante e efetivamente aplicável. Em vista disso, o objetivo do presente trabalho é apresentar resultados de cálculos aprofundados dentro do contexto real da ETE do município de Catas Altas, particularmente estimativas de produção de biogás/metano/energia e também de lodo. Com isso, desenvolvem-se propostas, incluindo projeções futuras, para aproveitamento desses recursos bioenergéticos, inevitavelmente produzidos pela ETE, de forma a promover novos impactos positivos da sua existência, manutenção e ampliação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo o IBGE (BRASIL, 2018), a população estimada da cidade de Catas Altas é de 4.846 habitantes, sendo que 4.320 são pertencentes à população urbana. A cidade

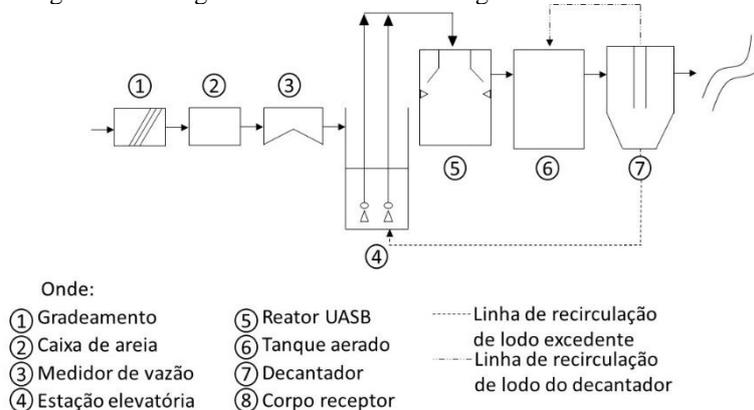
possui uma rede de esgoto com extensão de 27 km e coleta um volume total de (134.000 m³/ano), sendo que 75% do total do esgoto coletado é também tratado.

O sistema de tratamento biológico de esgotos domésticos implantado na cidade de Catas Altas consiste em um reator UASB seguido por lodos ativados convencionais, a Figura 1 apresenta o fluxograma da ETE Catas Altas. Essa concepção facilita o tratamento, pois o decantador primário é substituído pelo reator anaeróbico e o lodo aeróbio proveniente dos lodos ativados (ainda não estabilizado) é enviado ao reator UASB, onde sofre adensamento e digestão, juntamente com o lodo anaeróbico.

Os estudos realizados partiram do conhecimento da realidade da ETE Catas Altas, além de projeções populacionais e consulta à bibliografia do setor, a fim de avaliar qual o potencial atual (em 2016) e futuro (em 2038) da produção de biogás e lodo na ETE. Para 2016 a população considerada foi 80% da sede urbana (3.955 hab.) e para 2038 considerou-se 100% da sede urbana, portanto com projeção de crescimento populacional total (5.745 hab.).

Como opções para aproveitamento integrado de recursos, biogás/calor e lodo/agricultura, levantou-se e desenvolveram-se opções básicas e algumas variações eventuais para configuração do fluxograma da ETE Catas Altas. Posteriormente, foram realizadas avaliações da produção de biogás e lodo/biossólido, assim como de seu valor energético e agrícola nutricional disponível, e, por fim, as possibilidades de utilização desses recursos. Para isso, os cálculos de produção de biogás e lodo foram desenvolvidos considerando uma DQO média de 500 mg/L e balanços de massa adotando os percentuais típicos das principais parcelas de rotas de conversões.

Figura 1: Fluxograma de tratamento de esgoto na ETE Catas Altas



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E FLUXOGRAMAS

Como opções para aproveitamento integrado de recursos, desenvolveu-se 4 opções: a condição atual e condições futuras com ampliação da ETE e eventual mudança de fluxograma para opção mais econômica, isto é, sem grande gasto operacional, particularmente em função da demanda por energia elétrica (aeração). Assim os cenários considerados foram:

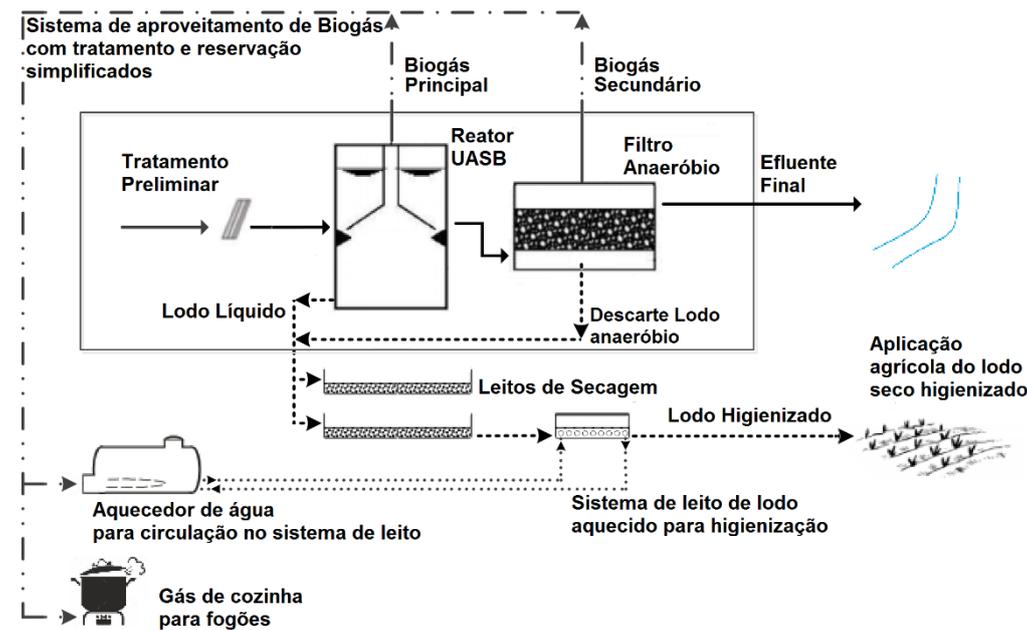
- ETE em 2016: situação atual (reator UASB + Lodos Ativados);
- ETE em 2016: situação ampliada (reator UASB + Filtro Anaeróbio);
- ETE em 2038: situação ampliada (reator UASB + Lodos Ativados);
- ETE em 2038: situação ampliada (reator UASB + Filtro Anaeróbio).

Os fluxogramas associados às duas opções básicas (consideradas em 2016 e 2038) estão apresentados na Figura 2 e Figura 3. Do ponto de vista do gerenciamento e aproveitamento dos subprodutos biogás e lodo, ficam evidenciadas nas figuras as proposições simplificadas, desde o sistema de condução e tratamento do biogás, até efetivamente o seu aproveitamento energético.

A opção principal é o sistema com queima de biogás e aquecimento de água, isto é, um aquecedor de água simplificado que gere água quente especialmente para circulação de água de temperatura elevada (70 – 80°C) pelo leito de lodo secundário. Com isso, vão-se integrar os dois subprodutos no sentido de se gerenciar adequadamente, queimando o biogás e secando e higienizando o lodo. De forma que, ao final do processo, a ETE vai poder disponibilizar para sociedade um produto de qualidade ambiental e agronômica para estimular a produção agrícola em pequenas propriedades ou hortas, até mesmo em áreas urbanizadas, pelo menos, em jardins.

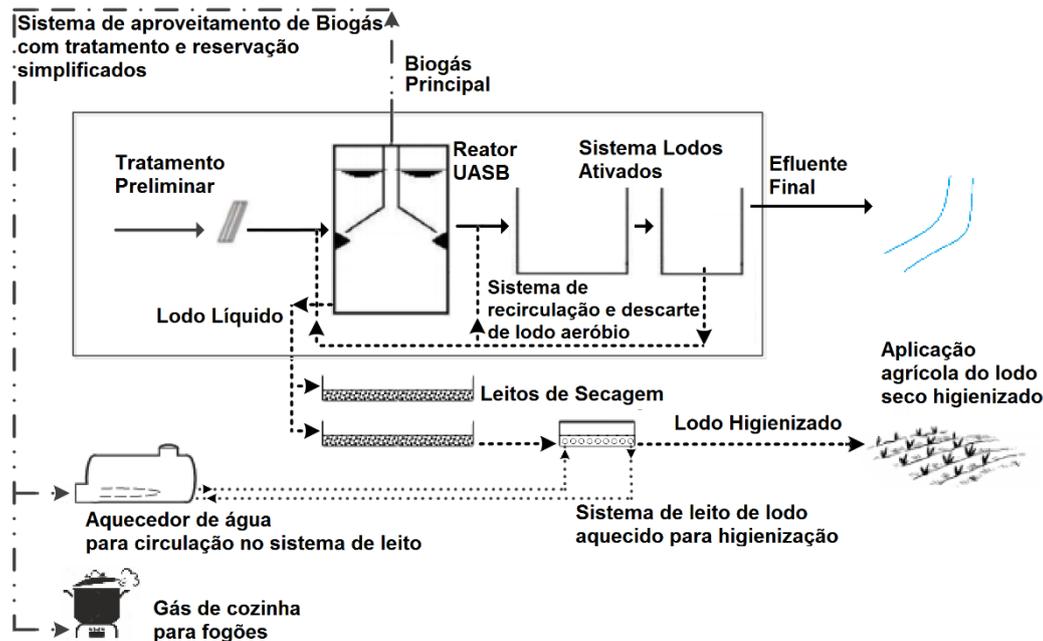
Como opção alternativa, algum excedente de produção de biogás, poderá ser destinado como gás de cozinha para casas ou instituições públicas (escolas) próximas. Também, nesse caso, é possível se projetar um sistema simplificado de tratamento, condução e disponibilização do biogás.

Figura 2: Proposição do fluxograma de tratamento ETE Catas Altas (UASB + Filtro Anaeróbio)



Adaptado de Ribeiro *et al.* 2017

Figura 3: Proposição do fluxograma de tratamento ETE Catas Altas (UASB + Sistema lodos ativados)



Adaptado de Ribeiro *et al.* 2017

4 AVALIAÇÕES DAS PRODUÇÕES DE BIOGÁS E LODO

4.1 ESTIMATIVAS PARA PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS

Na Tabela 1 têm-se os dados iniciais considerados e calculados que serviram de base para as estimativas de biogás e do lodo produzidos.

Tabela 1: Dados básicos considerados e calculados

Parâmetro	Unidade	Ano base	
		2016	2038
População	hab.	3955	5745
DQO afluente	mg/L	500	500
Vazão média	L/s	8,6	14,6
Carga afluente	kgDQO/d	370	629

Na sequência, seguiram-se os cálculos em planilhas eletrônicas, considerando eficiências típicas e balanços de massa de DQO para as principais parcelas. Com isso, produziu-se a Tabela 2 que apresenta diversas etapas dos cálculos, as eficiências finais e a consequente geração de biogás e metano para cada cenário. Importa o esclarecimento de que obviamente a grande parcela de metano provém do próprio reator UASB, mas adicionalmente o filtro anaeróbio gera também biogás, por ser outro tipo de reator anaeróbio. Por sua vez, o sistema Lodos Ativados não gera biogás, por ser reator aeróbio, com isso, as estimativas computadas nas colunas de LA se referem ao lodo recirculado para o próprio reator UASB, sendo assim, a geração de biogás é efetivada no UASB e não no LA.

Tabela 2: Cálculo da produção e biogás e eficiência do tratamento

Parâmetro	Unidade	Reator UASB		Filtro Anaeróbio (FA)		Lodos Ativados (LA)	
		2016	2038	2016	2038	2016	2038
Carga afl. Solúvel	Kg DQO/d	370	629	110,9	188,7	110,9	188,7
Carga afl. Lodo	Kg DQO/d			37,0	62,9	37,0	62,9
Efi. DQOsol. efl.	% DQOtotal afl.	70,0	70,0	30,0	30,0	60,0	60,0
CH ₄ Diss.	% DQOtotal afl.	18,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0
prod. Lodo	% DQOtotal afl.	20,0	20,0	15,0	15,0	40,0	40,0
Lodo efl.	% prod. Lodo	50,0	50,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Sulfato red.	% DQOtotal afl.	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH ₄ biogás	% DQOtotal afl.	27,0	27,0	15,0	15,0	0,0	0,0
Carga CH ₄ biog.	kg DQO/d	99,8	169,8	22,2	37,7	16,0	27,2
Prod. CH ₄	m ³ CH ₄ /d	40,6	69,0	9,0	15,3	6,5	11,0
Prod. Biogás	m ³ biogás/d	57,9	98,6	11,3	19,2	9,3	15,8
Carga remov.	kg DQOtotal/d	221,8	377,4	39,9	67,9	82,8	140,9
Razão Prod. CH ₄	L CH ₄ / g DQOrem.	0,183	0,183	0,226	0,226	0,078	0,078
Eficiência DQO	%	60,0	60,0	27,0	27,0	56,0	56,0
DQOtotal efl.	mg/L	200,0	200,0	146,0	146,0	88,0	88,0

A Tabela 3 apresenta uma síntese dos resultados da Tabela 3, acrescidos da determinação do potencial energético do biogás (MJ/d e kWh/d). Pela avaliação desses dados, particularmente no que diz respeito à produção de biogás e metano, tem-se que claramente a opção com reator UASB e Filtro Anaeróbio gera uma produção maior, de quase 50 m³/d de metano em 2016, apesar de uma eficiência de remoção de matéria

orgânica esperada menor (70% de DQO total). Contudo, tal eficiência pode atender plenamente à legislação para proteção de curso d'água receptor. E, por outro lado, mesmo uma eficiência maior (por exemplo, 80%) pode não atender se o curso d'água receptor for muito reduzido em vazão para diluição do esgoto tratado.

Tabela 3: Síntese dos resultados de produção de metano e biogás

Parâmetros (unidade)	Atual (2016)			Projeção (2038)		
	UASB	UASB + LA	UASB + FA	UASB	UASB + LA	UASB + FA
População (hab)		3.955			5.745	
Remoção DQO total (%)	60	80	70	60	80	70
Produção de Biogás (m ³ /dia)	58	67	70	98	114	120
Produção de Metano (m ³ /dia)	40,6	47,1	49,6	69,0	80,0	84,3
Energia potencial do biogás (MJ/dia)	1.334	1.547	1.704	2.269	2.632	2.899
Energia potencial do biogás (kWh/dia)	368	427	470	626	726	800

Assim, do ponto de vista do custo/benefício, entende-se que o sistema UASB + FA é mais interessante para produção de gás de valor energético. Cabe a ressalva que esse potencial energético dificilmente viabilizaria a implantação de um sistema de cogeração de energia (elétrica e térmica), também na perspectiva de análise de custo/benefício.

4.2 ESTIMATIVAS PARA PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DE LODO

Na Tabela 4 têm-se os cálculos desenvolvidos para estimativas da produção de lodo nos sistemas em avaliação. Utilizou-se de planilhas eletrônicas, considerando eficiências típicas e balanços de massa de DQO, proporções de lodo acumulado e efluente e outros coeficientes de lodo, todos adotados a partir da literatura e experiência técnica.

A Tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados, os quais permitiram novamente entender que o sistema mais interessante é o constituído por UASB + FA, o qual produz menos lodo (cerca de 1312 L/d em 2016), conseqüentemente demandando uma menor área de leito de secagem, mas sobretudo menos gastos operacionais associados com o lodo líquido e, depois, com o lodo seco.

Importa reforçar que, quanto menor a geração de lodo, mais viável se torna o sistema que promove a higienização térmica do lodo, na medida em que tal sistema poderá suprir a grande parte da energia calorífica necessária para a completa higienização de todo o lodo. Assim, o sistema pode se tornar, em maior intensidade, integrado e autossuficiente.

Outro fator plenamente favorável ao sistema UASB + FA é a menor complexidade do sistema de descarte de lodo, inclusive não tendo necessidade de recirculações e retornos de lodo para outras unidades. Isto é, tanto o lodo do UASB quanto o do FA podem ser direcionados diretamente para leito de secagem convencional. Nesse sentido, a Tabela 6 desenvolve-se uma comparação qualitativa entre as opções de pós-tratamento: Lodos Ativados e Filtro Anaeróbio. Ressalta-se, portanto, as relevantes diferenças em termos de processo e potenciais impactos para produção de biogás e lodo, além de complexidade e custos operacionais, no sentido novamente favorável ao sistema UASB e filtro anaeróbio.

Tabela 4: Cálculo da produção de lodo e área/volume demandado

Parâmetro	Unidade	Reatores UASB		Filtro Anaeróbio (FA)		Lodos Ativados (LA)	
		2016	2038	2016	2038	2016	2038
Ano base							
Carga afl. Sol.	kgDQO/d	370	629	110,9	188,7	110,9	188,7
Carga afl. Lodo	kgDQO/d			37,0	62,9	37,0	62,9
Efi. DQO sol.	%DQOafl. Tot.	70,0	70,0	30,0	30,0	60,0	60,0
Prod. Lodo	%DQOafl. Tot.	20,0	20,0	15,0	15,0	40,0	40,0
Prod. Lodo	Kg DQO/d	73,9	125,8	22,2	37,7	59,2	100,6
Lodo acum.	%DQOafl. Tot.	50,0	50,0	80,0	80,0	90,0	90,0
Lodo Efl.	%DQOafl. Tot.	50,0	50,0	20,0	20,0	10,0	10,0
Lodo Efl.	kg DQO/d	37,0	62,9	4,4	7,5	5,9	10,1
Lodo acum.	kg DQO/d	37,0	62,9	17,7	30,2	53,2	90,6
Razão 1 lodo	g DQO/gSV	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Razão 2 lodo	SV/ST acum.	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8
Razão 3 lodo	SSV/SST efl.	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
SST lodo efl.	mg SST/L	42,2	42,2	5,8	5,8	6,8	6,8
Coefficiente acum.	kg ST/ kg DQOafl.	0,11	0,11	0,16	0,16	0,3	0,3
Prod. lodo acum.	kg SV/d	41,6	70,8	24,0	40,8	36,0	61,2
Estabilização no UASB	%SV	-	-	-	-	30,0	30,0
Acúmulo no UASB	Kg SV/d	-	-	-	-	25,2	42,8
Carga DQOrem lodo	Kg DQOrem./d	-	-	-	-	16,0	27,2
Prod. lodo acum.	Kg ST/d	-	-	-	-	34,2	58,1
Prod. Total acum.	kg ST/d	-	-	65,6	111,6	75,8	129,0
ST lodo descart.	g ST/L	-	-	50,0	50,0	50,0	50,0
Volume	L/d	-	-	1312,4	2232,7	1516,3	2579,5
Lâmina leito secag.	cm	-	-	20,0	20,0	20,0	20,0
Área	m ² /d	-	-	6,6	11,2	7,6	12,9
Carga	kg ST/m ²	-	-	10,0	10,0	10,0	10,0
Tempo acúmulo	dias	-	-	14,0	14,0	14,0	14,0
Área total	m ²	-	-	91,9	156,3	106,1	180,6
ST lodo final	g ST/L	-	-	300,0	300,0	300,0	300,0
Volume final	m ³	-	-	3,1	5,2	3,5	6,0

Tabela 5: Síntese das estimativas da produção de Lodo

Parâmetro (unidade)	Atual (2016)			Projeção (2038)		
	UASB	UASB + LA	UASB + FA	UASB	UASB + LA	UASB + FA
Produção de Lodo (kg/dia)	41,6	75,8	65,6	70,8	129,0	111,6
Volume (L/dia)	-	1516	1312	-	2579	2232
Área de Leito de secagem (m ²)	-	106	92	-	181	156

Tabela 6: Esquemas comparativos entre Lodos Ativados e Filtro Anaeróbio como pós-tratamento de reator UASB

Parâmetros	Lodos ativados (LA)	Filtro anaeróbio (FA)
Processo bioquímico	Aeróbio	Anaeróbio
Produção e descarte de lodo	Sistema complexo, incluindo recirculação interna e produção de lodo aeróbio com descarte para UASB	Sistema simplificado, sem recirculações, produção somente de lodo anaeróbio e descarte diretamente para leito de secagem
Produção de biogás	Sem produção secundária no LA, mas com algum incremento pelo lodo do pós-tratamento enviado para digestão no UASB	Com produção secundária diretamente no FA e sem digestão de lodo do pós-tratamento no UASB, que fica preservado dessa função
Complexidade e gastos operacionais potenciais	Maiores	Menores

4.3 ESTIMATIVAS DA HIGIENIZAÇÃO TÉRMICA DO LODO LEITO ADICIONAL

No final dos cálculos e resultados, ficou definido que a proposta é trabalhar com 14 dias de acúmulo de lodo nos reatores UASB e FA para então proceder ao descarte em direção aos leitos de secagem convencional. Assim, com uma lâmina de 20 cm e concentração média de 50 g/L de ST, prevê-se que entre 10 e 14 dias nos leitos de secagem, a grande quantidade de água terá sido perdida, principalmente por drenagem. Ocupando alguns poucos centímetros de lâmina e uma concentração estimada em cerca de 300 g/L, esse lodo parcialmente seco, mas com muita umidade ainda, poderá ser raspado e direcionado para o leito de higienização contíguo aos leitos de secagem tradicionais. Esse lodo passa a ocupar uma lâmina de cerca de 10 cm sobre o leito de higienização. Com isso, inicia-se o ciclo de higienização. Terminado o ciclo adequado, tem-se um produto para o interesse público como um condicionador de solos agrícolas ou jardins. Nesse aspecto, as principais propriedades agronômicas de interesse do lodo higienizado são reportadas na Tabela 7 abaixo, ressaltando o conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono.

Tabela 7: Concentrações, em termos da massa seca de lodo de esgoto, de nutrientes, carbono e micronutrientes

Nutrientes (%)					Carbono (%)	Micronutrientes (ppm)	
N	P	K	Ca	Mg	C org.	Cu	Zn
2,22	0,67	0,95	0,83	0,30	20,10	89	456

Fonte: (Sanepar, 1997)

Teores de nitrogênio podem reduzir em função da higienização térmica.

Especificamente sobre a concepção desse sistema de leito higienizador, a essência é o aquecimento do lodo através da troca de calor com água quente que circula no interior de serpentinas em um piso radiante e protegido contra perdas de calor. O circuito

hidráulico é constituído de tubos de cobre de 22 mm de diâmetro, revestidos com polietileno expandido para isolamento térmico. As tubulações externas foram revestidas com alumínio corrugado, acima da camada de polietileno expandido (WAGNER *et al.*, 2015).

WAGNER *et al.* (2015) salientam que esse tipo de sistema é exatamente recomendável para aplicação em ETEs de pequeno porte, pois além de garantir um subproduto passível de utilização agrícola, o sistema é de fácil implantação, uma vez que utiliza materiais e mão de obra que são facilmente encontrados no mercado, somado ainda ao fato de ser de fácil operação. A operação é extremamente simplificada. Assim, após a raspagem a partir dos leitos drenantes convencionais, tem-se a constituição de uma lâmina de cerca de 10 cm de lodo úmido sobre o leito de aquecimento. Com isso, inicia-se o ciclo de higienização com o direcionamento do biogás para o equipamento aquecedor de água, ligando-o e, na sequência, ligando também a bomba de circulação de água. A duração completa do processo de higienização deverá funcionar continuamente durante 30 horas (1,25 dias), com a previsão de 1 dia inteiro para atingir a temperatura necessária, em cerca de 70 °C para o lodo no interior. Posteriormente, mais 2 horas são necessárias para a ação higienizadora efetiva e completa.

A partir do estudo prático anterior, considerou-se o gasto total de energia necessária para o funcionamento do sistema de 5 kWh/hora.

A Tabela 8 mostra os resultados das estimativas de potencial energético do biogás e de demanda de energia do leito higienizador. Na comparação entre esses cenários, fica novamente evidenciado que o sistema com reator UASB + FA, tanto em 2016 quanto em 2038, propiciou um sistema autossuficiente. Ao passo que o sistema com lodos ativados (UASB + LA 2016) não foi plenamente autossuficiente.

Tabela 8: Comparação entre possíveis cenários - Sistema aquecedor

<u>Produção de gás combustível/energia</u>		<u>UASB + FA</u> <u>2016</u>	<u>UASB + LA</u> <u>2016</u>	<u>UASB + FA</u> <u>2038</u>
Produção de CH ₄ total	m ³ /d	50	47	84
Temperatura média	°C	25	25	25
Produção Normal	N_m ³ _CH ₄ /d	45	43	77
Poder calorífico	kWh/N_m ³ CH ₄	9,9	9,9	9,9
Energia total	kWh/d	450	427	765
<u>Leito higienizador</u>				
Tempo de ciclo de Secagem Convencional	d	10 a 14	10 a 14	10 a 14
Potencia necessária/área	kWh/h/m ² de leito	5,0	5,0	5,0
Área de leito	m ²	30,6	35,4	52,1
Potencia total necessária	kWh/h	153,1	176,9	260,5

Tempo do ciclo higien.	d	1,25	1,25	1,25
Energia total necessária	kWh	4593	5307	7814
Tempo acúmulo biogás	d	14	14	14
Volume acumulado	m ³	991,4	940,9	1686,5
Energia CH ₄ total	kWh	6294	5973	10707
Eficiência do sistema	%	80	80	80
Energia disponível	kWh	5035	4779	8566

5 CONCLUSÕES

Para pequenas ETEs, próximas a 5.000 habitantes, do ponto de vista do gerenciamento e aproveitamento dos subprodutos biogás e lodo, a opção mais interessante tende a ser um sistema com queima de biogás e aquecimento de água, para circulação em serpentinas no interior de leito higienizador para tratamento de lodo parcialmente desidratado. Com isso, desenvolveram-se cálculos para uma proposição integradora para os dois subprodutos, no sentido de se gerenciar adequadamente, queimando o biogás e higienizando o lodo. De forma que a ETE pode estimular a produção agrícola em pequenas propriedades ou hortas, e até mesmo em áreas urbanizadas, em jardins. Como opção alternativa, algum excedente de produção de biogás, pode ser destinado como gás de cozinha para casas ou instituições públicas (escolas) próximas.

Em termos de fluxograma para a ETE estudada, aquele que minimizou os custos e maximizou o potencial de aproveitamento dos subprodutos foi o sistema com reator UASB e Filtro Anaeróbio, isto é, apresentou maior produção de biogás e menor produção de lodo a ser descartado. Além disso, verificou-se como fator plenamente favorável ao sistema UASB e Filtro Anaeróbio sua menor complexidade no descarte de lodo, inclusive não tendo necessidade recirculações e retornos de lodo para outras unidades.

Importa reforçar que, quanto menor a geração de lodo, mais viável pode se tornar o sistema de higienização térmica do lodo, na medida em que tal sistema poderá obter grande parte da energia calorífica necessária para a completa higienização de todo o lodo. Assim, o sistema pode se tornar, em maior intensidade, integrado e autossuficiente.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V., FERREIRA, A. C., CHERNICHARO, C. A. AND BORGES, E. S. M., Secagem e Higienização de Lodos com Aproveitamento de Biogás. In: CASSINI, S. T. (Ed.), Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. Rio de Janeiro: ABES, Rima, p. 121-165, 2003.

BRASIL. IBGE / Minas Gerais / Catas Altas. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/catas-altas/panorama>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

CHERNICHARO, C.A.L. and STUETZ, R.M. Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: management of gaseous emissions. IX LATIN AMERICAN WORKSHOP AND SEMINAR ON ANAEROBIC DIGESTION. Eastern Island - Chile: IWA, 2008.

CHERNICHARO, C. A. L.; LIER, J. B.; NOYOLA A.; RIBEIRO, T.B. Anaerobic sewage treatment : state of the art , constraints and challenges. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, v. 14, n. 4, p. 649– 679, 2015.

LOBATO, L. C. S.. Aproveitamento Energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto. 2011. 187 f. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/189D.PDF>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

BRESSANI-RIBEIRO, T.; BRANDT, E. M. F. ; GUTIERREZ, K. G. ; DÍAZ, C. A. ; GARCIA, G. B. ; CHERNICHARO, C. A. L. . Potential of resource recovery in UASB/trickling filter systems treating domestic sewage in developing countries. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 75, 2017.

VON SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. p. 15 – 48, 2005.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 196 p. 2002.

WAGNER, L. G.; POSSETTI, G. R. C.; CARNEIRO, C.; URBANETZ JUNIOR, J. Sistema Térmico de Higienização e Secagem de Lodo de Esgoto Movido a Energia Solar e Biogás. Agrener Gd: 10º CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, São Paulo, p.1-10, 2015.