

II-127 – POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO POR UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Rodrigo Soares Garcia da Silva⁽¹⁾

Engenheiro ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

Ernando Viescinski da Silva⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade Mato Grosso do Sul (FACSUL).

Endereço⁽¹⁾: Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 - Univerdecidade - Uberaba - MG - CEP 38064-200 - Brasil - Tel: (34)99888-6265 - email: rodrigo.sgs@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho avalia o potencial de recuperação de energia através da utilização do biogás gerado em um reator anaeróbio da estação de tratamento de esgoto (ETE) Los Angeles, em Campo Grande/MS, visando geração de energia elétrica capaz de atender o próprio consumo interno da estação. Para a caracterização do biogás gerado no reator, avaliou-se o aspecto qualitativo (concentração de metano) e quantitativo (vazão horária) de seu emprego para um motor gerador. Foram obtidos dados referentes a caracterização da fase líquida, o que pôde ser utilizado para se estimar as produções teóricas de biogás necessárias à sua caracterização. Para a produção de biogás estimada, obteve-se valores de potência na ordem de **200 a 250 kW**. De acordo com os dados de consumo de energia elétrica fornecidos pela administração da estação, esta potência corresponde a cerca de 25% da demanda. Afim de complementar a precisão dos dados de produção de biogás teóricos, de metano e de energia, faz-se necessária o estabelecimento de relações unitárias como proposto em modelo matemático descrito por Lobato *et al* (2012). Com estas relações unitárias e devido a produção de energia elétrica se encontrar em uma escala mínima de viabilidade (ROSENFELDT, CABRAL, *et al.*, 2015), fica evidente que a ETE necessita de alterações operacionais com vistas ao aumento da produtividade de metano para que possa ser implantado uma possível utilização do biogás em motores geradores.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Potencial energético, Reatores anaeróbios.

INTRODUÇÃO

A aprovação da Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) que trata sobre o saneamento, e torna obrigatória a elaboração do Plano de Saneamento Básico por parte dos tomadores de empreendimentos, em conjunto com o Decreto nº 7.217/2010 (BRASIL, 2010) que estabelece normas para a execução da Lei acima citada, determina que a partir de 2018 o acesso aos recursos da União, quando de sua aplicação para melhoria do saneamento básico, estará inteiramente ligada a existência do mesmo.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA através do Ministério das Cidades, investiu em soluções para objetivar a construção deste Plano. Por parte dos municípios e consórcios brasileiros, elaborou projetos que integrassem pesquisa, regulação de leis para a micro e pequena produção de energia e intercâmbio de conhecimento na indústria nacional com outros países, considerados referência, para que a demanda seja atendida e que se desenvolva tecnologia. Dentre as medidas de investimento está também a contratação de consultorias e capacitação técnica dos servidores. Assim espera-se que estas aplicações gerem Planos de Saneamento que sirvam de referência para os demais municípios.

Seguindo no sentido de aprimorar e ampliar os projetos de saneamento e os processos de tratamento, se buscou determinar o alcance máximo do desempenho no tratamento global do esgoto. Para isso, o aproveitamento do biogás se torna parte do processo porque além de contribuir aumentando a eficiência energética da estação de tratamento, torna o investimento de implantação menos oneroso e viável mesmo para pequenas cidades. Por isso, é de grande importância que se desenvolvam estudos e pesquisas nessas áreas, afim de contribuir para a difusão e emprego desta tecnologia em diversos ramos de produção.

O metano é um dos subprodutos resultantes do processo anaeróbio. Este gás é um dos responsáveis pelo efeito estufa (GEE), tornando-o altamente prejudicial à atmosfera. Seu potencial de aquecimento global (Global Warming Potential - GWP) é cerca de 20 vezes maior que o gás carbônico (ZILOTTI, 2012). Sendo assim, é muito importante dar um destino adequado a este subproduto. Hoje, na maioria dos locais onde ocorrem o tratamento por processos anaeróbios, o biogás produzido é coletado e queimado.

Este subproduto pode ser utilizado para a geração de energia elétrica ou para a cogeração em outros processos do tratamento nas estações. Como é composto essencialmente de gás metano (CH_4) tem alta capacidade calorífica, sendo um bom combustível para motores geradores de combustão interna ou microturbinas, possibilitando aumentar a eficiência energética de toda estação.

De acordo com o relatório feito pelo Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS) (SNSA, 2017), no Brasil a quantidade de municípios que recebe água tratada é de 91,1% e no atendimento ao tratamento de esgoto este percentual cai para 41,5%. Existe a necessidade do governo de investir em obras de saneamento básico, para melhorar a qualidade de vida da população e para que estes dejetos não poluam ainda mais o meio ambiente. Assim, aumentar a quantidade de esgoto tratado impacta diretamente de uma forma positiva o aumento na geração de biogás. Viabilizar seu aproveitamento nas ETE's pode gerar redução de custos operacionais, fonte adicional de receita, versatilidade no uso (elétrica, térmica, veicular) e também contribuir na utilização de fontes renováveis de energia (SANDIM, ANDRADE e NOBRE, 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para quantificar o potencial de geração de energia elétrica, realizaram-se etapas sequenciadas afim de verificar a consistência das informações e das condições de operação dos reatores anaeróbios (UASB) no objeto de estudo, a estação de tratamento de esgoto Los Angeles em Campo Grande/MS

Para isso foi realizada vistoria técnica ao local, de onde obteve-se informações operacionais e de controle das atividades desenvolvidas diariamente. Foram fornecidos dados referentes ao projeto de instalação do reator, cargas orgânicas aplicadas, vazões de biogás com sua composição, níveis de tratamento e consumo de eletricidade da planta geral da estação.

Na Figura 1 pode-se verificar o fluxograma das etapas metodológicas que foram exploradas e testadas.

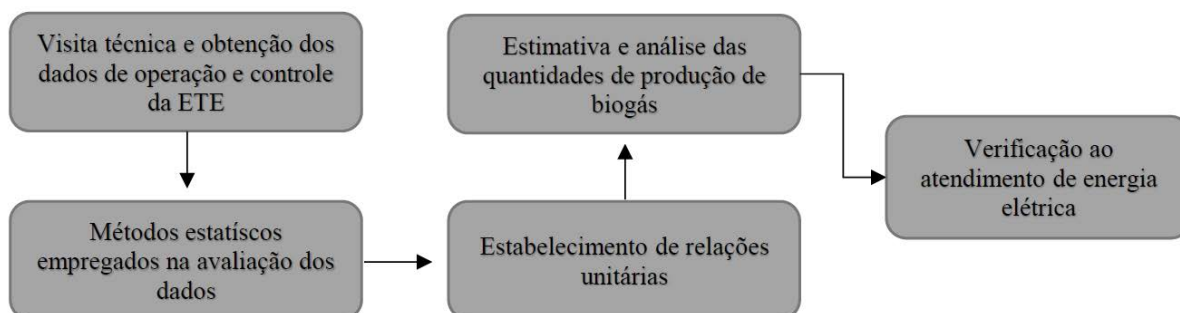


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas empregadas na análise.

Para o cálculo da estimativa de produção de biogás, utilizou-se uma relação baseada no balanço de massa de DQO (Equação 1). Nesta relação empregou-se a vazão de esgoto afluente, a quantidade de SSV convertida em biomassa ($\approx 0,60 \text{ g SSV/g DQO}$ - dado experimental), DQO afluente, DQO por mol de metano ($64 \text{ g DQO/mol CH}_4$, dado teórico), DQO efluente e taxa de oxigênio equivalente da biomassa ($1,42 \text{ g DQO/g SSV}$, dado teórico) (TCHOBANAGLOUS et al, 2016). As equações 2,3 e 4 também utilizam a eficiência na remoção de DQO ($\approx 70\%$) e a equação volumétrica dos gases sob a temperatura ($26,4^\circ\text{C}$) de funcionamento do reator, ficando então:

Balanco de DQO em regime permanente:

$$DQO_a = DQO_{ef} + DQO_{SSV} + DQO_{metano} \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

DQO_a = DQO afluente;

DQO_{ef} = DQO de saída no efluente;

DQO_{SSV} = DQO convertida em tecido celular;

DQO_{metano} = DQO convertida em metano.

Quantidade de metano produzido a **26,4°C** :

$$V = nRT/P \quad (\text{equação 2})$$

Com:

V = volume de gás gerado;

n = número de mols;

R = constante universal dos gases;

T = temperatura em Kelvin;

P = pressão atmosférica.

Para a porção equivalente de CH_4 da DQO convertida em um reator anaeróbio:

$$CH_{4DQO \text{ convertida}} = (L/mol)/(g \text{ DQO/mol } CH_4) \quad (\text{equação 3})$$

Sendo, $g \text{ DQO/mol } CH_4$ igual ao valor de DQO por mol de metano. E para a produção de metano:

$$\text{Produção de } CH_4 = (DQO_{metano}) \cdot (CH_{4DQO \text{ convertida}}) \cdot (1m^3/10^3L) \quad (\text{equação 4})$$

Assim, para chegar a vazão total de biogás basta dividir a produção de metano pela sua concentração média no gás, que neste caso foi considerado 60 %.

Para o cálculo do potencial de energia elétrica utilizou-se a vazão de metano. Para se obter essa quantidade multiplicou-se a vazão de biogás pela concentração média de metano. Neste cálculo ainda se utilizou o poder calorífico inferior do metano, de aproximadamente 10 kWh/m³CH₄ (MORAN et al, 2010), e rendimento na conversão de energia elétrica do motor gerador de **36%** (PROBIOGÁS, 2015), a energia elétrica então é dada pela Equação 5:

$$P = Q_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} \cdot \eta_{elétrico} \quad (\text{equação 5})$$

Sendo:

P = potencial de geração de energia elétrica (kWh/d)

Q_{CH_4} = vazão de metano (m³/d)

PCI_{CH_4} = poder calorífico inferior do metano (10 kWh/m³)

$\eta_{elétrico}$ = eficiência elétrica do motor gerador (36%)

Para definir a potência do motor gerador considerou-se uma utilização contínua de 24h. Adicionalmente à quantificação da geração de energia para os dados medidos, estimou-se a produção se ocorresse melhorias no reator através da vazão teórica.

Com as análises das concentrações de DQO_{total} afluente e $DQO_{filtrada}$ efluente fornecidas pela ETE Los Angeles, pode-se calcular as relações unitárias associadas à produção de biogás, metano e energia no período de janeiro de 2016 a junho do mesmo ano.

As relações obtidas foram comparadas às estimadas pelo modelo proposto por Lobato *et al* (2012), afim de se verificar a correspondência dos resultados de produção de biogás e energia estimadas pelo modelo matemático. A modelagem trata o balanço de DQO considerando os fluxos de matéria orgânica nas parcelas: convertidas em

metano; perdas incidentes sobre o escape de metano no efluente e na fuga de gás; parcela permanente no efluente; parcela convertida em lodo; parcela devido à redução de sulfato.

Dentro disto, são considerados três cenários distintos: **Pior Cenário** (PC). Corresponde ao menor potencial energético devido a esgotos mais diluídos, concentrações altas de sulfato ($\approx 80 \text{ mg/L}$), menor eficiência na remoção de DQO ($\approx 60\%$) e maiores índices de perda de metano ($\approx 34\%$); **Cenário Típico** (CT). Refere-se ao potencial energético intermediário, caracterizado por esgotos de concentração mediana, concentrações de sulfato na ordem de 60 mg/L , eficiência de remoção de DQO de 65% , e perdas de metano de 26% ; **Melhor Cenário** (MC). Considerado o maior potencial energético, levando-se em consideração esgotos concentrados, pequenas concentrações de sulfato ($\approx 40 \text{ mg/L}$), grande eficiência na remoção de DQO ($\approx 70\%$), baixos índices de perda de metano ($\approx 18\%$).

Com os dados fornecidos do consumo de energia elétrica, pela administração da estação de tratamento, calculou-se um consumo médio diário primeiramente visto que a referência se tratava de quantidades de energia gastas mensalmente. Deste modo, cruzando as informações de geração com as de consumo, pôde-se averiguar o atendimento da produção de energia do motor gerador. Nesta estimativa, foi desconsiderado os picos de uso na rede elétrica assim como as oscilações de produção do biogás. Para o caso de se obter quantidades de produção de energia superiores ao consumo, deve ser previsto a aquisição de um gasômetro dimensionado para atender a demanda.

RESULTADOS OBTIDOS

Os parâmetros adotados na caracterização da fase líquida do reator anaeróbio estão descritos na Tabela 1, referentes aos meses de janeiro a junho de 2016, são eles: vazão de esgoto, concentração de DQO FILTRADA afluente e DQO FILTRADA efluente, eficiência de remoção de DQO e cargas orgânicas aplicadas e removidas.

Tabela 1: Características e parâmetros da fase líquida da ETE, no período de jan/2016 a jun/2016

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	Mediana	DP
VAZÃO DE ESGOTO* (L/s)	654	630	706	553	603	534	616,5	64,1
DQO TOTAL AFLUENTE* (mg/L)	634	576	596	900	668	701	651	117
DQO FILTRADA EFLUENTE* (mg/L)	122	273	215	265	202	215	215	54,2
EFICIÊNCIA (%)	81	53	64	71	70	69	69,55	9,25
COV APLICADA (KgDQO/m ³ d)	1,3	1,1	1,3	1,5	1,2	1,2	1,26	0,15
COV REMOVIDA (KgDQO/m ³ d)	1,03	0,59	0,83	1,08	0,87	0,80	0,85	0,2

*Valores fornecidos pela administração da ETE Los Angeles. DP: desvio padrão da amostra.

Para a análise da fase gasosa, os parâmetros apresentados se referem às características de vazão e composição qualitativa, como as concentrações de metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e oxigênio, podendo ser conferidas na Tabela 2.

Através das equações 1,2,3 e 4 estimou-se a vazão teórica de produção do biogás (Tabela 3) com base na concentração de metano caracterizado na amostra fornecida pela ETE (60% - Tabela 2) e nos dados da caracterização líquida da Tabela 1

Tabela 2: Características e parâmetros da fase gasosa da ETE Los Angeles.

Parâmetros	Biogás
Vazão normalizada de biogás (Nm ³ /h) *	60
Concentração de CH ₄ (%)*	60
Concentração de CO ₂ (%)*	10
Concentração de H ₂ S (ppm)*	1000
Concentração de O ₂ (%)*	8,0

*Valores fornecidos pela administração da ETE Los Angeles.

Tabela 3: Vazões teóricas de biogás calculadas para com base nos dados de caracterização líquida

	Vazão de biogás estimada (m ³ /h)	Concentração de CH ₄ (%)
JANEIRO	98,99	60
FEVEREIRO	86,63	60
MARÇO	100,45	60
ABRIL	118,82	60
MAIO	96,16	60
JUNHO	89,37	60
Mediana	97,58	
DP	11,37	

Como pode ser verificado para os valores teóricos calculados, a vazão de biogás do reator sofre poucas oscilações mensais (Figura 2). Para uma geração contínua mensal, a câmara de transporte de gás acaba por absorver boa parte das oscilações de picos de vazão, características do fluxo diário de efluente.

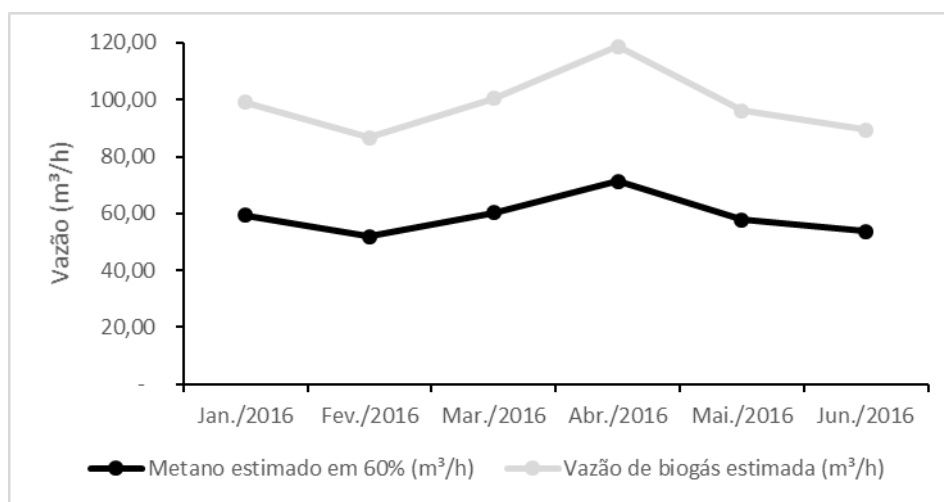


Figura 2: Vazões teóricas mensais de biogás e metano no reator anaeróbio da estação de tratamento Los Angeles.

Através dos valores de metano e de vazão média teórica de biogás, calculou-se o potencial de geração de energia elétrica utilizando a Equação 5, assim como a potência de instalação necessária ao motor Ciclo Otto. Os resultados estão na Tabela 4 assim como também o consumo mensal elétrico da ETE.

Para a caracterização dos valores unitários de produção, utilizou-se dados técnicos obtidos através dos responsáveis pela estação de tratamento de esgoto e dados teóricos derivados dessas medições. Esses valores contribuíram para se estimar o cenário atual de produção e operação da ETE Los Angeles.

Para a contribuição per capita considerou-se **110 g DQO/hab.d**, assim juntamente com a taxa de vazão média de esgoto afluente e a concentração média de **DQO_{total}**, chega-se a caracterização de metano, do biogás e do potencial de energia. Os dados calculados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Valores teóricos da produção de energia elétrica e potência de motor geradores para a ETE Los Angeles.

	Jan. 2016	Fev. 2016	Mar. 2016	Abr. 2016	Mai. 2016	Jun. 2016	Mediana	DP
Geração de En. Elétrica (kWh/d)	5.132	4.491	5.208	6.160	4.985	4.633	5.058	589,5
Pot. Instalada (kWel)	214	188	217	257	208	194	211	24
Consumo ETE Los Angeles (kWh/d)	22.320	19.488	20.832	22.320	18.600	18.720	20.160	1.700
Atendimento a demanda da ETE (%)	22,99	23,05	25,00	27,60	26,80	24,75	24,87	1,89

Tabela 5 - Relações unitárias de metano, biogás e energia para o reator UASB da ETE Los Angeles.

Relações unitárias	Unidades	Medidos	
		Medido/ Teórico	Cenário Típico*
Volume de metano per capita	m ³ CH ₄ .hab.d ⁻¹	0,004	0,004-0,016
Volume de metano por volume de esgoto tratado	m ³ CH ₄ .m ³ esgoto tratado ⁻¹	0,09	0,07-0,14
Volume de metano por DQO removida	m ³ CH ₄ .kg DQOremovida ⁻¹	0,05	0,11-0,19
Volume de biogás por volume de esgoto tratado	m ³ biogás.m ³ esgoto tratado ⁻¹	0,04	0,06-0,10
Volume de biogás por DQO removida	m ³ biogás.kg DQOremovida ⁻¹	0,08	0,16-0,24
Potencial de produção de energia por volume de esgoto tratado	kWh.m ³ esgoto tratado ⁻¹	0,09	0,42-0,80
Potencial de produção de energia por DQO removida	kWh.kg DQOremovida ⁻¹	0,18	1,14-1,94
Potencial de produção de energia por volume de biogás produzido	kWh.m ³ biogás ⁻¹	2,16	6,9-7,9

*Valores baseados no modelo matemático de Lobato *et al* (2012).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Constatou-se que, assim como na maioria dos estudos apontados, as cargas orgânicas aplicadas em reatores anaeróbios que tratam esgoto doméstico são realmente baixas (CHERNICHARO, 2007), tendo em vista as concentrações de DQO afluentes terem um valor mediano de 651 mg/L, mesmo o afluente recebendo uma carga orgânica extra do chorume que advém do aterro sanitário. A eficiência do reator mostrou uma mediana em torno de 70%, representando uma quantidade passível de ser convertida em biogás. Pode-se perceber ainda que as concentrações de DQO efluentes apresentam um valor mediano de 215 mg/L. Essa concentração ainda pode representar um bom potencial de exploração, pois o efluente pode ser tratado até chegar a níveis de matéria orgânica mais baixos (<100 mg/L) (PROBIOGÁS, 2015), complementando a produção de biogás.

Em relação a composição do biogás, apesar do teor de metano estar dentro do previsto para reatores anaeróbios (60% a 80%), observa-se que a quantidade de outros gases além dos principais (metano e dióxido de carbono) têm expressivo percentual, como o oxigênio. Este por sua vez, certamente está ligado a infiltrações de ar na rede de biogás ou em pontos não vedados no reator. O oxigênio contribui para a oxidação do sulfeto de hidrogênio, fazendo com que as concentrações de H₂S diminuam. Entretanto, seu teor deve ser controlado

em vista da possível aplicação que o biogás possa vir a ter. A melhor solução neste caso seria recorrer a métodos de purificação de gás para se obter um produto de melhor qualidade.

É importante ressaltar que apesar do valor estequiométrico da remoção de metano por $DQO_{removida}$ ser da ordem de $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg } DQO_{removida}$, a estimativa teórica de recuperação na fase gasosa normalmente apresenta um valor bem abaixo, isto se deve a considerável parcela que fica dissolvida no efluente juntamente com uma outra porção que não é digerida e deixa o reator misturada ao lodo de excesso (CHERNICHARO, VAN LIER, *et al.*, 2015). Adicionalmente a isto, temos deficiências da remoção de gás retido na câmara e possíveis perdas de biogás para a atmosfera, por vazamentos na linha de coleta ou até mesmo por falta de estanqueidade do próprio reator.

Outro fator complicador na caracterização das fases líquida e gasosa, é a adição de chorume no afluente do reator. Como não foi possível mensurar a quantidade de adicionada ao esgoto, sua influência ao tratamento sendo ela positiva ou negativa, não foi possível de ser verificada. Contudo, algumas pesquisas como a de Santos (2009) mostram que existem vantagens e desvantagens de seu uso em conjunto com esgoto doméstico, isto irá depender diretamente da sua contribuição volumétrica ao reator UASB. Em sua pesquisa constatou que até uma proporção de 2,5% não houve efeito significativo, de 2,5% a 5% se tornaram significativos e acima de 10% não se torna recomendável. Ficando então a investigação deste parâmetro, ainda a ser esclarecida.

Com os dados da Tabela 4, pode-se inferir que a capacidade de geração de energia elétrica pelo biogás atenderia uma demanda de aproximadamente 25% da energia elétrica consumida mensalmente. Ainda, de acordo com indicações de porte técnico-econômica para plantas de reaproveitamento de biogás utilizando reatores UASB, é aconselhável um mínimo de **200 kW** (ROSENFELDT, CABRAL, *et al.*, 2015) ou **255 kW** (VALENTE, 2015) de potência instalada. Como para o caso em questão, o valor mediano de potência instalada se encontra entre esses os valores citados, é aconselhável que se faça um estudo de avaliação mais detalhado. O gráfico da Figura 3 mostra a relação de consumo e produção mensais da ETE Los Angeles.

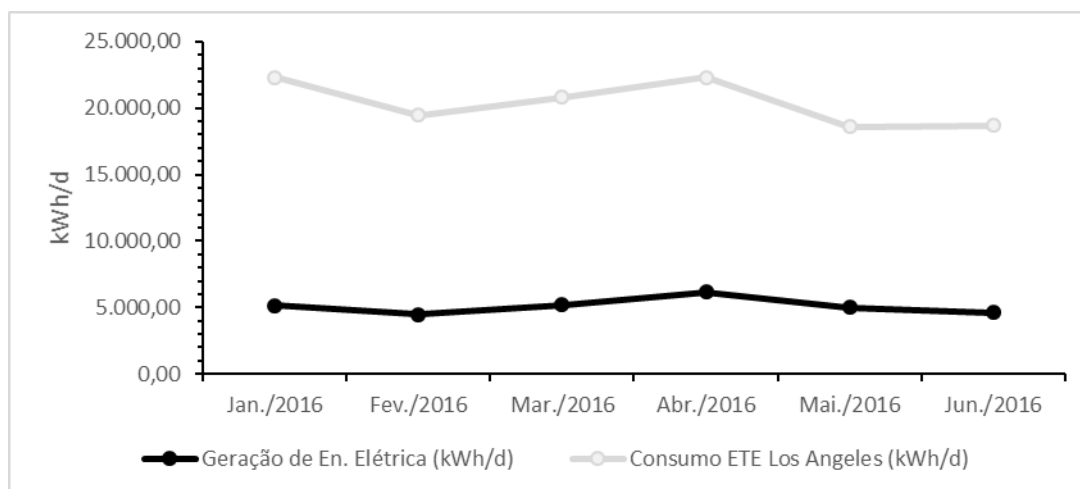


Figura 3: Valores estimados de atendimento à demanda de energia elétrica da ETE Los Angeles.

Fazendo a comparação dos cenários medidos e teóricos com os determinados pelo modelo matemático de Lobato *et al* (2012), pode-se observar claramente que em todos os quesitos, exceto para o volume de metano por volume de esgoto tratado, as relações unitárias se encontram no Pior Cenário. Ressalta-se ainda que para o cálculo deste valor foi considerado o teórico estimado devido à falta de medições experimentais.

Posto que consideravelmente todas as relações unitárias se encontraram abaixo do determinado, exclui-se que os problemas tenham apenas uma origem, devendo-se considerar e analisar de forma apurada aspectos de projeto, falta de precisão das medidas, vazamentos de biogás produzido, captura de metano na fase líquida e etc. Destaca-se, portanto, a importância dessas relações unitárias para a obtenção de estimativas mais precisas de produção de metano, biogás e energia elétrica, já que contempla variáveis como concentração de DQO e eficiência do reator.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

O teor de metano encontrado em análise laboratorial da estação de tratamento de esgoto, se mostrou no limite máximo inferior para porcentagens típicas de metano presentes em biogás. E através deste teor (60%) juntamente com dados da caracterização líquida do tratamento, estimou-se sua produção teórica para outros períodos de avaliação. Concomitantemente a isto, a porcentagem de oxigênio para a amostra se mostrou elevado, ficando clara que existem grandes perdas de biogás para o meio ambiente ao passo que o gás do reator é contaminado com oxigênio externo. O quantitativo de biogás previsto pelo método aplicado apresentou-se satisfatório.

Para se estimar o potencial de produção de energia elétrica, considerou-se a produção teórica de biogás juntamente com os critérios que compõe as limitações do motor gerador e das concentrações de metano. Estimou-se para os referidos meses em estudo, uma produção mediana de 211 kW com máximo de 257 kW na amostra, estes valores representam um atendimento à cerca de 25% da demanda elétrica da ETE Los Angeles. Como mencionado por Rosenfeldt et al (2015) e Valente (2015), valores característicos como estes devem passar por avaliações detalhadas, visto que configuram escalas mínimas de viabilidade.

Todas as relações unitárias calculadas apresentaram valores abaixo do cenário típico. Com exceção do volume de metano por volume de esgoto tratado, esses valores configuram entre as regiões de pior cenário e até mesmo abaixo desta configuração. Cabe ressaltar que este parâmetro é muito empregado quando deseja-se estimar a produção de metano por vazões de esgoto, e que se apresenta confiável para grande parte das estimativas geradas. As faixas que configuram os cenários no trabalho de Lobato *et al* (2012) consideram ainda todas as eventuais perdas de metano, o que torna aderente ao esperado.

Devido ao exposto, sugere-se que se realize maiores investigações acerca do objeto exposto, em virtude da falta de critérios que sustentem a implantação do uso de sistemas geradores de energia elétrica a biogás. Essas futuras investigações devem conter em seu escopo avaliações como:

- Melhor caracterização das fases líquida e gasosa do reator UASB, cruzamento destes dados com dados pluviométricos e investigações das perdas de sólidos em efluente, juntamente com a avaliação da adição de chorume no afluente.
- Investigações acerca das flutuações de vazão, tanto de biogás quanto de DQO assim como para com outros parâmetros, estabelecendo-se então análises mais completas e complexas.
- Realizar a viabilidade econômica e financeira da implantação do empreendimento, com seus custos, retornos financeiros e taxas de recuperação do valor investido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF, jan de 2007.
2. BRASIL. Decreto nº 7.217 de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília, DF, jun de 2010.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2ª edição. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
4. CHERNICHARO, C. A. L. et al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Reviews in Environmental Science and Bio/technology, 14, 2015. p. 649-679.
5. LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors domestic eastewater. Water Science and Technology, 66, 2012.
6. MORAN, M. J. et al. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 7ª edição. John Wiley & Sons, 2010.
7. PROBIOGÁS, B. -S. N. D. S. A. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Probiogás: Brasília, 2015.

8. ROSENFELDT, S. et al. Avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás por meio de motor-gerador em uma ETE. Part EN: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais., Rio de Janeiro, 2015.
9. SANDIM, E.; ANDRADE, L.; NOBRE, T. Impacto do uso e conservação de energia no saneamento. Revista Saneas, p. 6-13, 2016.
10. SNSA, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2015. Brasília. 2017.
11. TCHOBANAGLOUS, G. et al. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Tradução de Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. Porto Alegre: AMGH, 2016.
12. VALENTE, V. B. Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em Estações de Tratamento de Esgoto no Brasil. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação de Mestrado - Planejamento Energético – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
13. ZILOTTI, H. A. R. Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para geração de energia elétrica, 2012. Dissertação de Mestrado – Energia na Agricultura – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.