

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETOS SUSTENTÁVEIS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS
E MERCADO DE CARBONO

ARTUR BURGO

AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO – ESTUDO DE CASO: ETE PILOTO DE ARAÇÁS, VILA VELHA/ES

Curitiba

2018

ARTUR BURGO

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO – ESTUDO DE CASO: ETE PILOTO DE ARAÇÁS, VILA VELHA/ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do curso de Projetos Sustentáveis,
Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono da
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial para a obtenção do título de Especialista
em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e
Mercado de Carbono.

Orientadora: Profa. Dra. Cymara Regina Oshiro

Curitiba

2018

Para Deus, porque Dele por Ele e para
Ele são todas as coisas.

Para minha mãe e para minha tia Ana,
mulheres gigantes, expressões na Terra
do verdadeiro Amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus “*porque desde a antiguidade não se ouviu, nem com ouvidos se percebeu, nem com os olhos se viu um Deus além de Ti que trabalha para aquele que Nele espera*” (Isaías 64:4). A Ele seja dada toda honra, toda glória, todo louvor e toda exaltação pelos séculos dos séculos.

À minha mãe, Aparecida, e à minha tia Ana, que com todo zelo e dedicação têm dado suas vidas para que eu possa conquistar meus objetivos. Em referência a elas e à notoriedade do que elas têm feito por mim, cito Isaac Newton: “Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”.

Aos meus avós Agenor e Maria, alicerces de minha família.

À minha amada Bruna pela sua compreensão, paciência e apoio em momentos fundamentais para que este dia chegasse. Você é super importante!

Aos meus irmãos sempre presentes, em especial ao André e à Audileia.

Aos meus sobrinhos, em especial ao Bernardo e à Victória pelo tempo que “cederam” para o tio Artur terminar este trabalho.

Aos meus cunhados, em especial ao Derly e à Regina, pelo auxílio nos momentos de necessidade.

Aos meus tios e primos; todos foram importantes para que eu chegasse até aqui.

À minha fantástica orientadora Prof^a Dra. Cymara Regina Oshiro pela dedicação e ajuda no decorrer de todo este trabalho. Saiba que você é fruto de minha oração, pois pedi a Deus que não me desse o orientador que eu queria, mas o que Ele sabia que seria melhor para mim.

Aos amigos pessoais que de alguma forma me ajudaram neste trabalho.

A todos os colegas da Ufes, dentre os quais cito especialmente o professor Ricardo Franci Gonçalves, a Tatiana Izato Assis, o Rodrigo Nunes Oss, a Ludimila Zotele Azeredo e a Gabriela Boechat.

RESUMO

A fração gasosa proveniente da digestão anaeróbia de efluentes líquidos e resíduos sólidos é majoritariamente composta por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) que, apesar de serem gases de efeito estufa (GEE), podem a ser utilizados como fonte de energia alternativa para Estações de Tratamento de Esgoto e Aterros Sanitários. O presente trabalho avaliou a autossuficiência energética de uma ETE Piloto situada em Araçás, Vila Velha/ES. A coleta dos 128 dados foi realizada entre os meses de março e setembro, sendo metade destes coletados em condições de temperaturas mínima média inferior a 20°C e precipitações entre 81 mm e 195 mm. A partir disto, avaliou-se a interferência do fator operacional e das condições meteorológicas. Os dados sugerem que as condições meteorológicas impactaram negativamente na produção de biogás, sendo que a demanda energética da ETE Piloto é superior à máxima energia produzida pelo reator UASB 1, nestas condições. Porém, o reator é capaz de suprir a demanda energética da Bomba Dosadora e da Bomba Centrífuga 02.

Palavras Chave: Biogás, Reator Anaeróbio, Reator UASB, Estação de Tratamento de Esgoto Piloto

ABSTRACT

The gaseous fraction from wastewater anaerobic digestion and solid waste is mainly composed of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) which, although greenhouse gases (GHG), can be used as an energy source alternative for Wastewater Treatment Plants and Landfills. The present study evaluated the energy self-sufficiency of a Wastewater Treatment Plant (WTP) pilot located in Araçás, Vila Velha/ES. The 128 data were collected between March and September, half of which were collected under average minimum temperatures of less than 20 ° C and precipitations between 81 mm and 195 mm. From this, it was evaluated the interference of the operational factor and the meteorological conditions. The data suggest that the meteorological conditions impacted negatively on biogas production, and the energy demand of the WTP pilot is higher than the maximum energy produced by UASB 1 reactor in these circumstances. However, the reactor is able to meet the energy demand of the Metering Pump and Centrifugal Pump 02.

Keywords: Biogas, Anaerobic Reactor, UASB Reactor, Wastewater Treatment Plant Pilot

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ETE PILOTO DENTRO DA ETE ARAÇÁS, VILA VELHA/ES.	18
FIGURA 2 - CONFIGURAÇÃO DA ETE PILOTO ARAÇÁS.	20
FIGURA 3 - (A) VISTA DO REATOR UASB 1. (B) DESENHO ESQUEMÁTICO DO REATOR.	22
FIGURA 4 - MEDIDOR DE BIOGÁS UTILIZADO PARA O MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DIÁRIA DE BIOGÁS NO UASB 1.	23
FIGURA 5 - COMPARAÇÃO PERCENTUAL ENTRE A QUANTIDADE DE DADOS E O VOLUME MÉDIO DE BIOGÁS PRODUZIDO EM CADA ETAPA OPERACIONAL DO UASB 1.	27
FIGURA 6 - VOLUME MÉDIO DIÁRIO DE BIOGÁS PRODUZIDO PELA ETE PILOTO.	28
FIGURA 7 - TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO PERÍODO DA CAMPANHA DE COLETA DE DADOS DE VAZÃO DE BIOGÁS NO REATOR UASB 1.	29
FIGURA 8 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS MÍNIMAS NO MÊS DE JULHO.	29
FIGURA 9 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO MÊS DE AGOSTO.	30
FIGURA 10 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS MÍNIMAS NO MÊS DE SETEMBRO.	30
FIGURA 11 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DO VOLUME TOTAL PRECIPITADO NOS MESES DE JUNHO, JULHO E SETEMBRO.	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VOLUME TOTAL DE BIOGÁS MENSURADO EM CADA MÊS E O SEU RESPECTIVO NÚMERO DE DADOS.	25
TABELA 2 - ETAPAS OPERACIONAIS DO UASB 1.	26
TABELA 3 – CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL CALCULADO DA ETE PILOTO, DE ACORDO COM A POTÊNCIA E O TEMPO DE FUNCIONAMENTO DE CADA EQUIPAMENTO.	32
TABELA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DA ETE PILOTO E DE RESULTADOS APRESENTADOS NA LITERATURA.	33
TABELA 5 - REPRESENTATIVIDADE ENERGÉTICA DE CADA EQUIPAMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO PARA OPERAÇÃO DA ETE PILOTO.	33
TABELA 6 - REPRESENTATIVIDADE ENERGÉTICA DE CADA EQUIPAMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO PARA OPERAÇÃO DO UASB 1.	34
TABELA 7 - POTENCIAL ENERGÉTICO DO METANO OBTIDO A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO PELO REATOR UASB 1.	35
TABELA 8 - COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO DE ALTERNATIVAS APRESENTADAS PELA LITERATURA PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOGÁS.	35
TABELA 9 - ENERGIA EFETIVAMENTE GERADA PELOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DO BIOGÁS.	36
TABELA 10 - SUPRIMENTO DA DEMANDA ENERGÉTICA DA ETE PILOTO E DO UASB 1 DURANTE AS ETAPAS SCA E CCA.	36
TABELA 11 - GERAÇÃO DE ENERGIA <i>PER CAPITA</i> E POR VOLUME DE EFLUENTE TRATADO NA ETE PILOTO E EM OUTROS TRABALHOS APRESENTADOS NA LITERATURA.	37
TABELA 12 - PERCENTUAL DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA ATENDIDA PARA FUNCIONAMENTO DE CADA EQUIPAMENTO NECESSÁRIO PARA OPERAÇÃO DO UASB 1 COM CODIGESTÃO ANAERÓBICA.	37

LISTA DE SIGLAS

CCA - Com Codigestão Anaeróbica

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento

EPE - Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética

ETE - Estações de Tratamento de Efluentes

FINEP - Financiador de Estudos e Projetos

GEE - Gases de Efeito Estufa

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

RAC – Reator Anaeróbico Compartimentado

SCA – Sem Codigestão Anaeróbica

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digestion*

Ufes - Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE SÍMBOLOS

CH_4 – Metano

CO_2 – Dióxido de Carbono

H_2 - Hidrogênio

SO_4^{2-} - Sulfato

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	14
3.1.1 Processos Aeróbios	14
3.1.2 Processos Anaeróbios.....	15
3.2 REATORES UASB.....	16
3.3 BIOGÁS.....	16
3.4 CODIGESTÃO ANAERÓBICA.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 ETE PILOTO DE ARAÇÁS.....	18
4.2 O REATOR UASB 1	21
4.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	22
4.4 INFLUÊNCIA DA CHUVA E DA TEMPERATURA	23
4.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA ETE PILOTO	24
4.6 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA DA ETE PILOTO	24
4.7 AVALIAÇÃO DA AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ETE PILOTO	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO OPERACIONAL.....	26
5.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA CHUVA	27
5.3 CONSUMO MÉDIO MENSAL DE ENERGIA DA ETE PILOTO	32
5.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DA ETE PILOTO	34
6. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

As questões relativas à segurança hídrica, alimentar e energética são fatores que interferem na qualidade de vida do ser humano e, atualmente, são pautas importantes para a comunidade internacional (ASSIS; 2017; ENDO et al., 2017). Assim, pesquisas e investimentos que atendam pelo menos um destes focos têm se intensificado e esta parece ser a tendência para os próximos anos.

Neste sentido, as frações sólidas, líquidas e gasosas provenientes do tratamento de efluentes têm apresentado potencial para representar parte da resposta no que diz respeito à geração de energia renovável e sustentável, recuperação de nutrientes e produção de água potável (LETTINGA, 2005 apud CHERNICHARO, 2011). Dentre as alternativas de tratamento de efluentes, as que atuam por meio de vias anaeróbias têm ganhado destaque, pois apresentam baixa produção de sólidos, baixo consumo de energia, baixos custos de implantação e operação, e produção de biogás, um gás combustível com alto teor energético (CHERNICHARO, 2011). No Brasil o uso destas tecnologias é favorecido pelas condições climáticas e dentre elas os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) têm despontado como uma das mais atraentes opções, devido às suas dimensões, ao seu rendimento na remoção de matéria orgânica e à sua geração de subprodutos úteis (CHERNICHARO, 2011; ASSIS; 2017).

Os UASB, assim como outros reatores anaeróbios, têm sido objeto de estudo quanto à geração de energia elétrica e térmica a partir do biogás que produzem (PECORA, 2006; SUZUKI et al., 2011; LOBATO, 2011; ASSIS; 2017; CABRAL et al., 2017). Porém, ainda há a carência de mais estudos que não sejam restritos à escala de bancada (ASSIS; 2017). O presente trabalho tem por fim contribuir com esta demanda ao analisar em escala piloto a produção de biogás de um reator UASB antes e após o processo de Codigestão Anaeróbica e, assim, determinar seu potencial energético.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a autossuficiência energética de uma ETE piloto localizada em Araçás, Vila Velha/ES.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o gasto energético médio mensal para operação da ETE piloto;
- Quantificar o volume médio mensal de biogás produzido pela ETE piloto;
- Determinar o potencial energético do biogás produzido pela ETE piloto.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Em setembro de 2015, a ONU definiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, dentre os quais deve-se “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos”.

Atualmente, o consumo energético mundial mantém o ritmo de crescimento e é esperado que esta tendência se mantenha, sobretudo nos países em desenvolvimento. No Brasil, segundo a Resenha Mensal de Energia Elétrica de julho de 2017 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), há uma expectativa de que o consumo energético cresça nos próximos cinco anos, e que já em 2017 esta elevação seja de 0,7% em relação a 2016, chegando a 464.206 GWh, apesar da atual situação econômica do país (BRASIL, 2017).

Este cenário nacional demonstra a necessidade de que mais pesquisas e investimentos sejam feitos a fim de se desenvolver e se viabilizar fontes e alternativas de energia renovável/limpa para o suprimento da demanda dos próximos anos.

Neste sentido, tem crescido o interesse de cientistas e de investidores por fontes alternativas de energia, dentre as quais figura o biogás – obtido a partir de processos anaeróbicos de digestão de matéria orgânica. No Brasil, devido à grande geração de dejetos animais, resíduos orgânicos e efluentes há um elevado potencial para o uso de biogás. Quanto aos efluentes, por exemplo, de todo o volume produzido no país, apenas 68,8% é coletado e tratado, sendo as lagoas de estabilização e os processos de lodo ativado com aeração os tratamentos biológicos mais utilizados (BRASIL, 2008; JORGE; OMENA, 2012). No entanto, para a geração de biogás, como supracitado, são necessários processos biológicos estritamente anaeróbios.

Desta forma, as iniciativas que visem promover pesquisas sobre potencial energético – seja térmica ou elétrica - de Estações de Tratamento de Efluentes

(ETE), podem trazer subsídios para se elevar estas unidades ao patamar de futuras usinas de energia.

3.1 PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento biológico de efluentes reproduz, em suas devidas proporções, os processos naturais de degradação de matéria orgânica que ocorrem em corpos hídricos naturais e, por fazer uso de organismos já presentes no meio - como bactérias, protozoários, fungos e algas - torna-se uma das alternativas mais econômica e operacionalmente eficazes (SYKES, 2002; VON SPERLING, 2011).

Como dito, o tratamento biológico de esgotos faz uso da biota já presente no efluente e/ou da que encontra condições favoráveis nele para o seu desenvolvimento. Neste sentido, sabe-se que na maioria dos processos de tratamentos de efluentes (excetuando-se as lagoas facultativas) não há significativa penetração de energia luminosa nos líquidos contidos nos tanques destinados ao tratamento, devido à elevada turbidez do meio (VON SPERLING, 2011). Portanto, os organismos que dependem da luz como fonte de energia tendem a ter presença limitada neste meio (VON SPERLING, 2011). Além disto, a geração de energia nas células microbianas será diferente em processos aeróbios e anaeróbios.

3.1.1 Processos Aeróbios

Os processos por via aeróbia utilizam oxigênio para degradar a matéria orgânica presente no efluente por meio de reações oxidativas, o que produz maior quantidade de energia para o sistema (VON SPERLING, 2011). Nestes processos, o oxigênio atua como aceptor de elétrons e a matéria orgânica como doadora, resultando na liberação de CO_2 , devido à oxidação completa de todo carbono presente na matéria orgânica (VON SPERLING, 2011).

3.1.2 Processos Anaeróbios

Quando há ausência de oxigênio (condição aeróbia) e de nitratos (condição anóxica), iniciam-se os processos por via anaeróbia (ou anaeróbica), os quais não utilizam oxigênio para degradar a matéria orgânica presente no efluente (VON SPERLING, 2011). Desta forma, nestes processos os aceptores de elétrons podem ser os sulfatos (SO_4^{2-}) ou o dióxido de carbono (CO_2), produzindo sulfeto e metano (CH_4), dois dos componentes do biogás (VON SPERLING, 2011), apesar de a formação de CH_4 ocorrer preferencialmente em ambientes nos quais o oxigênio, o nitrato e o sulfato não estejam disponíveis como aceptores de elétrons (CHERNICHARO, 2011).

Embora a digestão anaeróbica possa ser considerada um processo de basicamente duas fases (acidogênica e metanogênica), nela podem ser distinguidas quatro diferentes fases no processo global de conversão, a saber: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 2011).

A primeira fase do processo de degradação anaeróbica é a hidrólise, visto que os microrganismos são incapazes de assimilar a matéria orgânica particulada e esta, então, é reduzida a menores frações: proteínas a aminoácidos, lipídeos a ácidos graxos, e assim por diante (METCALF; EDDY, 2003; CHERNICHARO, 2011).

Em seguida, os produtos resultantes da hidrólise passam pelo metabolismo fermentativo no interior das células, produzindo compostos ainda mais simples, como os ácidos orgânicos, álcoois, CO_2 e hidrogênio (H_2) (CHERNICHARO, 2011).

Posteriormente, as bactérias acetogênicas oxidam os ácidos orgânicos gerados na etapa anterior, resultando em acetato, H_2 e CO_2 , que serão importantes na próxima etapa para se produzir metano (CHERNICHARO, 2011; ASSIS, 2017).

Por fim, na metanogênese, é concluída a conversão anaeróbia de matéria orgânica em CH_4 e CO_2 através da ação de microrganismos pertencentes ao domínio das *Archaea* (CHERNICHARO, 2011).

3.2 REATORES UASB

Os reatores anaeróbios do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digestion*) são câmaras fechadas nas quais há passagem ascendente do efluente. Nestes reatores a decomposição da matéria orgânica se dá por via anaeróbia, obtendo-se como subproduto gasoso o biogás.

Atualmente, o UASB se destaca no mercado nacional, pois é barato e de simples operação, adequa-se às condições climáticas brasileiras, produz pouco lodo – em virtude de depurar o efluente por via anaeróbia – e é capaz de converter entre 50% e 80% da matéria orgânica em biogás, o que lhe torna potencialmente um sistema gerador de energia (GONÇALVES, 2016; ASSIS; 2017).

3.3 BIOGÁS

O biogás é obtido a partir da decomposição anaeróbia de efluentes, dejetos animais e resíduos orgânicos. O biogás é composto majoritariamente por CH_4 e CO_2 , gases de efeito estufa (GEE). Segundo Anunputtikul e Rodtong (2004) e Meier et al. (2015), o CH_4 e o CO_2 estão presentes no biogás, respectivamente, nas proporções de 45-75% (v/v) e 30-55% (v/v).

Além dos gases supracitados, o biogás ainda apresenta outros gases como o sulfeto de hidrogênio (0-1%), o qual lhe confere seu odor característico e pode ser corrosivo. Porém, dentre todos os gases elencados, o CH_4 é o que lhe confere maior potencial energético e, de acordo com Rosa et al. (2016) e Assis (2017), possui poder calorífico de $35,9 \text{ MJ/m}^3$, e segundo Gonçalves (2016), o

poder calorífico de um biogás com 60% - 70% de CH₄ está entre 21 MJ/Nm³ e 25 MJ/Nm³.

Estas características têm feito com que nos últimos anos a produção de biogás seja enxergada como alternativa para a geração de energia elétrica – seja para consumo na própria planta ou para comercialização -, como combustível para fornos, caldeiras e/ou combustíveis veiculares (GONÇALVES, 2016).

3.4 CODIGESTÃO ANAERÓBICA

Como visto, a digestão anaeróbica se dá através de sucessivas reações de bactérias e *Archeas* na ausência de oxigênio e sobre uma “determinada” matéria orgânica (LIMA et al., 2016; ASSIS; 2017).

Porém, quando há a digestão anaeróbica simultânea de duas ou mais substâncias biodegradáveis em um mesmo reator, diz-se que nele ocorre Codigestão Anaeróbica (LIMA et al., 2016; ASSIS; 2017). Este procedimento tem em vista elevar a velocidade de digestão e a eficiência do reator, otimizando o processo e reduzindo os seus custos (ASSIS; 2017). Assim, atualmente, esta tem sido uma das alternativas mais estudadas para aumentar a produtividade de biogás nos processos anaeróbios (CHOONG et al., 2016; ASSIS; 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ETE PILOTO DE ARAÇÁS

A ETE Piloto está localizada na ETE Araçás, no bairro Jardim Guaranhuns, no Município de Vila Velha, Estado do Espírito Santo e faz parte de um projeto de desenvolvimento e inovação financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e que envolve uma parceria entre a CESAN (Companhia Espírito Santense de Saneamento), a Fluir Engenharia Ambiental e a Ufes (Universidade Federal do Espírito Santo). A **FIGURA 1** apresenta uma imagem aérea da ETE Piloto dentro da ETE Araçás.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ETE PILOTO DENTRO DA ETE ARAÇÁS, VILA VELHA/ES.



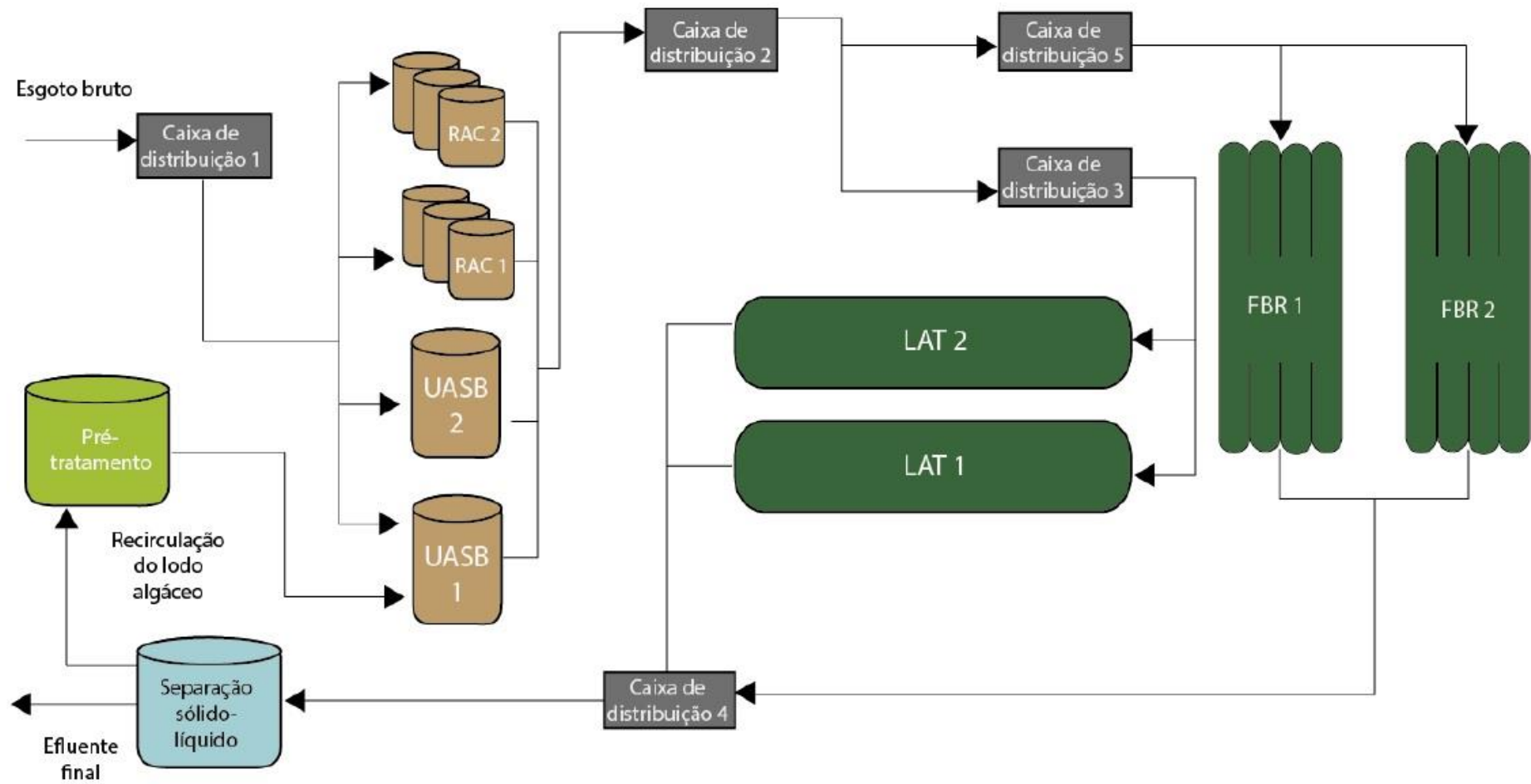
FONTE: Adaptado de Google Maps. Acesso em 23/01/2018.

Para o desenvolvimento do projeto “Soluções tecnológica integradas para potencializar a geração de biocombustíveis em estações de tratamento de esgotos que utilizam processos a base de microalgas”, a ETE Piloto supracitada foi instalada com capacidade para atender à demanda equivalente de uma população de 302 habitantes. Assim, dos 520 L/s que chegam à ETE Araçás, após o tratamento preliminar, 0,56 L/s são desviados para a ETE Piloto. Na FIGURA 2 está apresentado um modelo esquemático da ETE Piloto, na qual se encontra:

- Um sistema de pré-tratamento (gradeamento fino e desarenação);
- Dois reatores UASB (um convencional - UASB 1 – e outro modificado – UASB 2);
- Dois Reatores Anaeróbios Compartimentados (sendo um modificado - RAC1 – e outro convencional – RAC2);
- Duas lagoas de alta taxa (LAT1 e LAT2);
- Dois Fotobiorreatores tubulares (FBR1 e FBR2), três sistemas de separação sólido-líquido da biomassa algácea;
- Dois sistemas de hidrólise do lodo algáceo.

Dentre estas estruturas, no momento, somente os reatores UASB 1, RAC1, LAT1, LAT2 e um sistema de separação sólido-líquido estão em operação.

FIGURA 2 - CONFIGURAÇÃO DA ETE PILOTO ARAÇÁS.



FONTE: Extraído de Assis, 2017.

4.2 O REATOR UASB 1

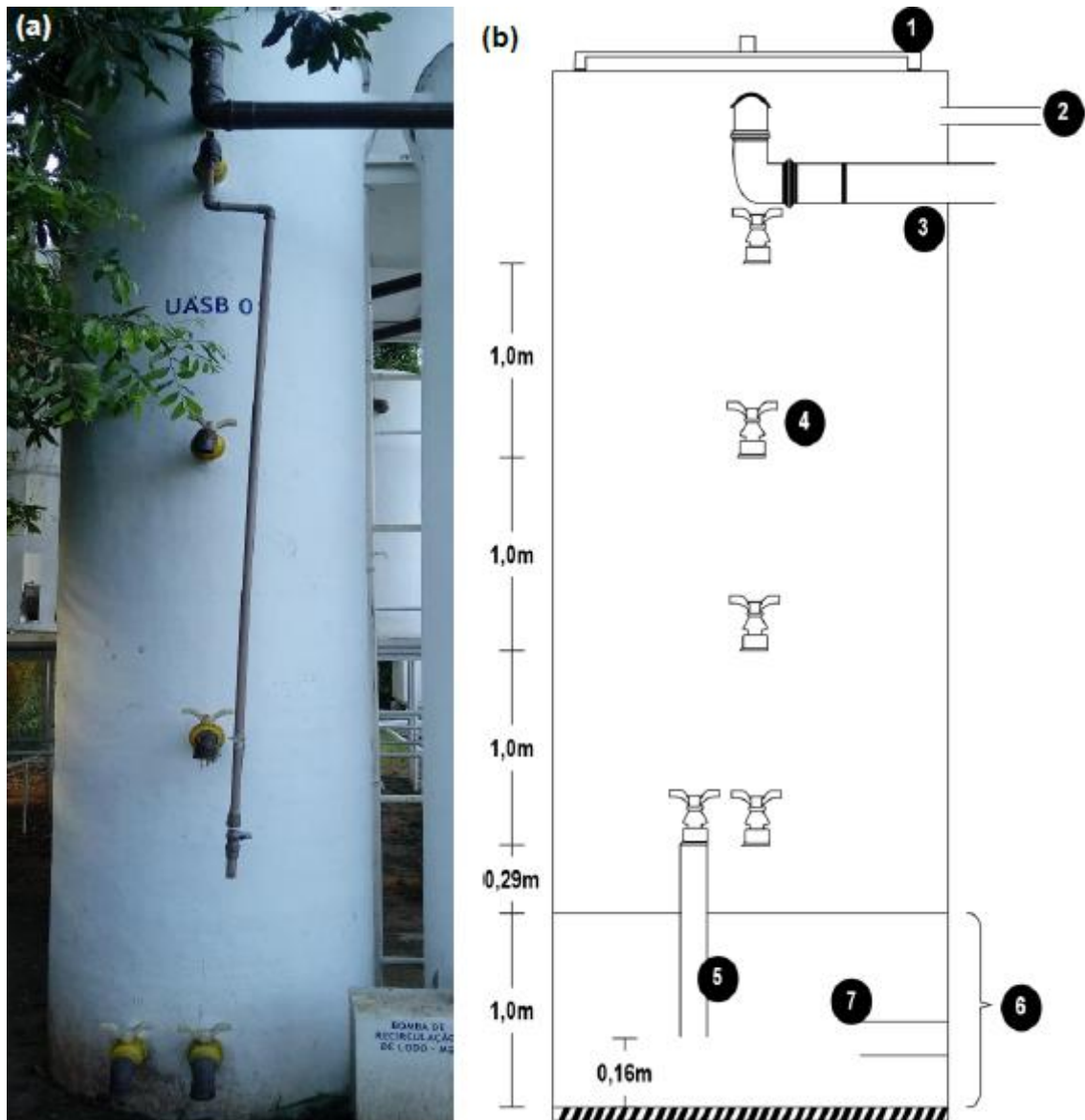
Apesar de haver outros equipamentos em funcionamento, para o presente trabalho avaliou-se apenas a produção de biogás gerada pelo efluente que passou pelo reator UASB 1, projetado para uma população de 76 habitantes. Esta escolha foi feita, pois atualmente o projeto estava preparado para mensurar apenas a produção de biogás neste reator.

Quanto às suas características construtivas, este reator UASB foi construído em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), altura útil de 4,8m - sendo 1 metro enterrado - e dotado de um separador de fases, conforme FIGURA 3.

A Figura 3a apresenta uma imagem real do UASB 1, enquanto na Figura 3b há um desenho esquemático, no qual são representadas as seguintes estruturas:

1. Tampa de PRFV (D = 50 cm);
2. Tubulação de PVC (D = 25 mm) para coleta do biogás;
3. Tubulação de PVC (D = 75 mm) para a saída do efluente;
4. Registro de amostragem de lodo em PVC (D = 50 mm);
5. Tubulação de PVC interna acoplada ao registro de amostragem;
6. Zona de digestão correspondente ao leito do reator enterrada a um metro;
7. Tubulação (D = 75 mm) de chegada do esgoto bruto.

FIGURA 3 - (A) VISTA DO REATOR UASB 1. (B) DESENHO ESQUEMÁTICO DO REATOR.



FONTE: Extraído e Adaptado de Assis, 2017.

4.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Realizou-se o monitoramento da produção diária de biogás no UASB 1 através de coleta dos dados disponibilizados pelo medidor de biogás Ritter modelo TG5 (FIGURA 4). Desta forma, obteve-se 128 dados entre 30 de março e 28 de setembro de 2017.

FIGURA 4 - MEDIDOR DE BIOGÁS UTILIZADO PARA O MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DIÁRIA DE BIOGÁS NO UASB 1.



FONTE: Extraído de ASSIS, 2017.

4.4 INFLUÊNCIA DA CHUVA E DA TEMPERATURA

As atividades biológicas dos microrganismos são influenciadas pelo meio em que vivem e, assim, períodos chuvosos e com baixas temperaturas precisam ser considerados como fatores de interferência na produção de biogás.

Com o fim de atender a este critério, foram utilizados dados de precipitação total, temperatura máxima média e temperatura mínima média do INMET referentes aos últimos dez anos (2007 a 2017). A partir disto, avaliou-se se estes parâmetros foram coincidentes com os períodos em que os menores volumes de biogás foram registrados.

4.5 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA ETE PILOTO

Relacionou-se a vazão total de efluente tratado em um mês com o volume total de biogás produzido no mesmo período, a fim de posteriormente utilizar este parâmetro para verificar o potencial energético da ETE Piloto.

Assim, verificou-se que para um TDH (tempo de detenção hidráulica) de 8.8h, a vazão média de efluente direcionado para o UASB 1 foi de 0,12 L/s, o que corresponde a 10368 L/dia ou aproximadamente 137 L/hab/dia. Baseando-se nestes dados, a relação supracitada foi feita conforme o número de dias de coleta de o volume de biogás gerado no mesmo período.

4.6 CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA DA ETE PILOTO

O consumo médio mensal de energia da ETE Piloto foi calculado através da coleta dos dados de potência, do tempo de funcionamento de cada equipamento a ele relacionado, do tempo total (em horas) de funcionamento no mês e da quantidade de cada equipamento. Estes dados foram fornecidos pela equipe de pesquisadores do Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Ufes.

4.7 AVALIAÇÃO DA AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ETE PILOTO

Comparando-se o potencial energético da ETE Piloto - com base na produção de biogás - e o seu consumo mensal de energia, avaliou-se se a planta é ou não autossuficiente na produção de energia e/ou se tem potencial de exportação de energia para a rede.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado, a campanha para coleta de dados teve início no dia 30 de março de 2017 e se estendeu até 28 de setembro. A partir destes dados gerou-se a **tabela 1**

TABELA 1 – VOLUME TOTAL DE BIOGÁS MENSURADO EM CADA MÊS E O SEU RESPECTIVO NÚMERO DE DADOS

Mês	Somatório das Vazões Mensais de Biogás (L/h)	Dias de Monitoramento
Março	37,72	2
Abril	486,68	16
Maio	615,23	19
Junho	560,15	22
Julho	257,10	19
Agosto	561,40	26
Setembro	609,18	24
Total	-	128

FONTE: Próprio Autor (2018).

Sabe-se que a produtividade de biogás para um reator é diretamente influenciada por fatores operacionais, sazonais e meteorológicos.

Operacionalmente, segundo Assis (2017), o UASB 1 teve seu *start* entre 16 de agosto de 2016 e 31 de dezembro de 2016, fazendo uso da metodologia proposta por Campos (1999). Posteriormente, entre os dias 01 de janeiro de 2017 e 14 de julho de 2017, o UASB 1 operou sem processo de Codigestão Anaeróbica - o qual teve início em 15 de julho de 2017. Desta forma, operacionalmente, o UASB 1 passou por três etapas (tabela 2). Contudo, para a presente pesquisa, são relevantes apenas parte do período sem Codigestão Anaeróbica (SCA) e do período com Codigestão Anaeróbica (CCA), visto que é o intervalo no qual há mensuração do volume de biogás produzido pela ETE Piloto.

TABELA 2 - ETAPAS OPERACIONAIS DO UASB 1.

Início	Fim	Etapa
16/08/2016	31/12/2016	Start
01/01/2017	14/06/2017	Sem Codigestão Anaeróbica
15/06/2017	Atual	Com Codigestão Anaeróbica

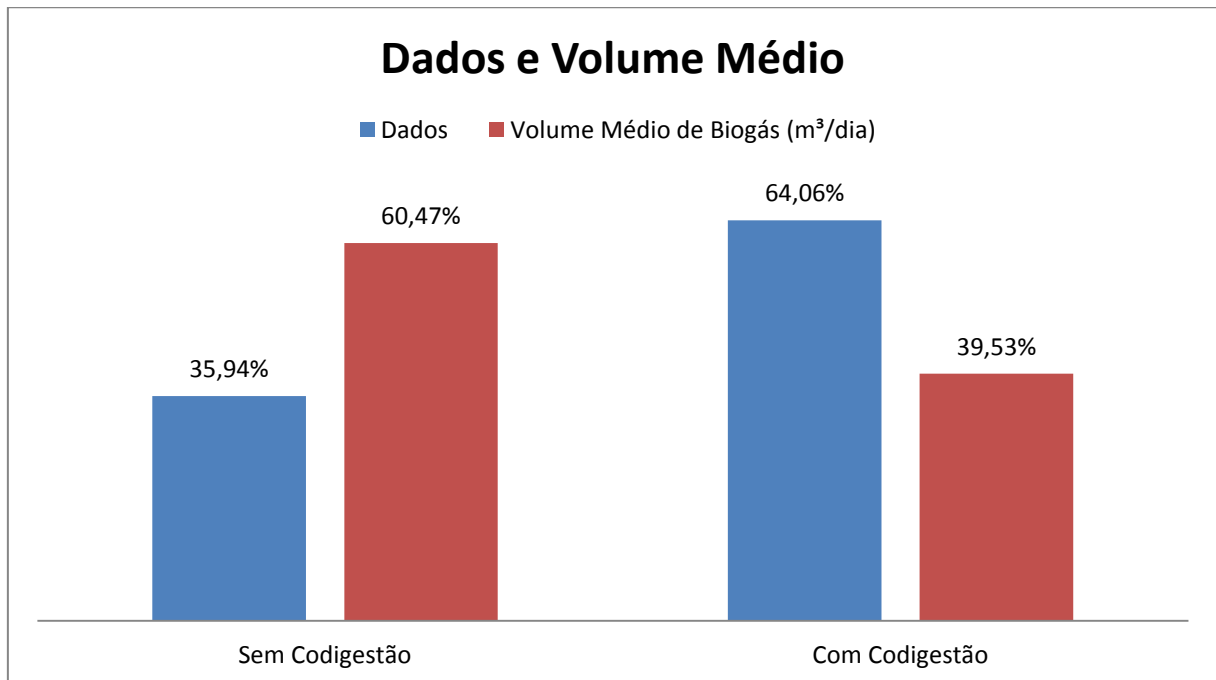
FONTE: Próprio Autor (2018).

Quanto às sazonalidades e às condições meteorológicas, sabe-se que períodos mais frios desfavorecem os processos anaeróbios, pois as baixas temperaturas reduzem a atividade metabólica dos organismos anaeróbios (LEW et al., 2011; VON SPERLING, 2011; MAMANI, 2015). Além disto, as chuvas também podem afetar o rendimento das ETE, devido à diluição do efluente e aumento dos volumes que chegam às estações. Apesar de ser ilegal o lançamento de águas pluviais na rede coletora de esgoto sanitário, esta prática ainda é muito comum e acaba impactando no processo de tratamento. No presente trabalho estas condições estiveram presentes no período em que os dados foram coletados.

5.1 INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO OPERACIONAL

Como exposto, os dados desta campanha passaram pela mudança operacional do UASB 1, o qual passou a operar com Codigestão Anaeróbica no dia 15 de junho de 2017. Antes da Codigestão Anaeróbica foram coletados 46 dados, o que corresponde a 35,94% da quantidade de dados coletados. Neste período, a vazão média diária de biogás produzida foi de 0,75 m³/dia, o que equivale a 60,47 % do total mensurado na etapa SCA. Posteriormente, no período CCA, foram coletados 64,06% dos dados da campanha, os quais foram responsáveis por 39,53% do volume total de biogás produzido. A FIGURA 5 apresenta estes dados de forma gráfica e ao analisá-los pode-se observar que no período CCA houve 78,26% a mais de dados que no período SCA, apesar de a produção de biogás ter decrescido em torno de 34,62%.

FIGURA 5 - COMPARAÇÃO PERCENTUAL ENTRE A QUANTIDADE DE DADOS E O VOLUME MÉDIO DE BIOGÁS PRODUZIDO EM CADA ETAPA OPERACIONAL DO UASB 1.



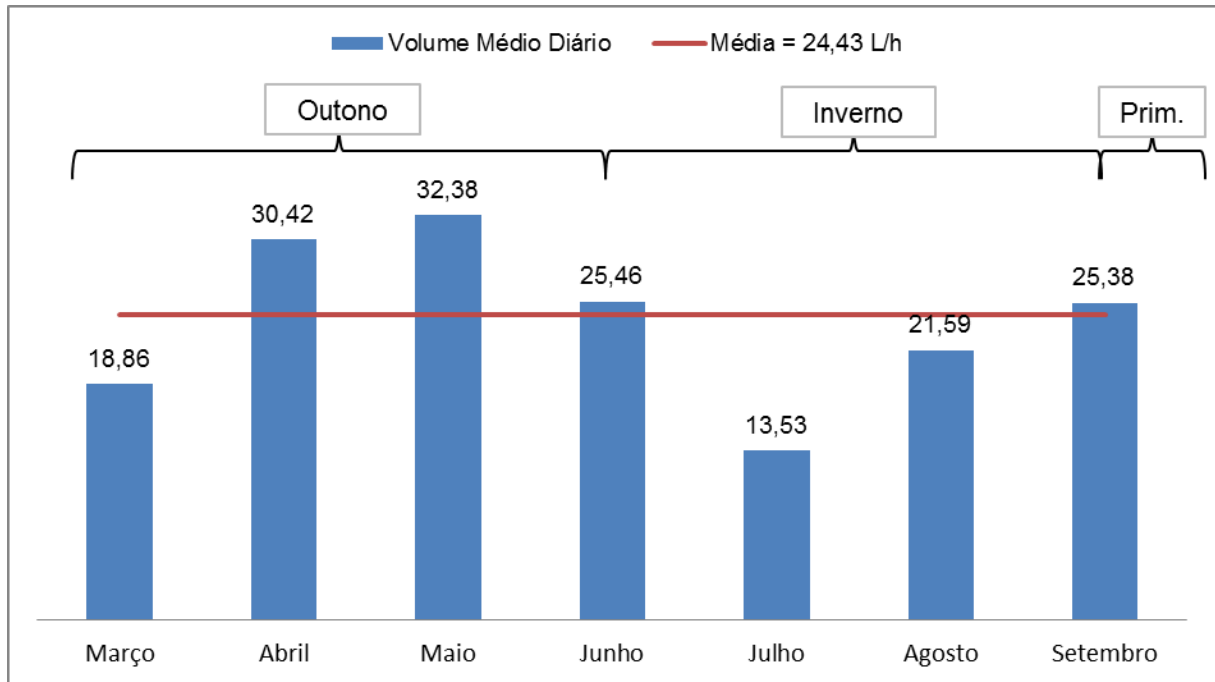
FONTE: Próprio Autor (2018).

Assim, a avaliação destes dados sugere que a Codigestão Anaeróbica impactou na produção de biogás. Assis (2017) chegou a semelhante conclusão ao avaliar a mesma série de dados.

5.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA CHUVA

Além das mudanças operacionais, o período de obtenção dos dados passou por diferentes condições meteorológicas, visto que esteve contido entre o início do outono e o início da primavera. Na FIGURA 6 é possível observar como o volume de biogás variou ao longo das estações do ano. Assim, observa-se que no inverno foram registradas as menores vazões de biogás. Segundo Lew et al. (2011) temperaturas inferiores a 20°C afetam a produção de biogás.

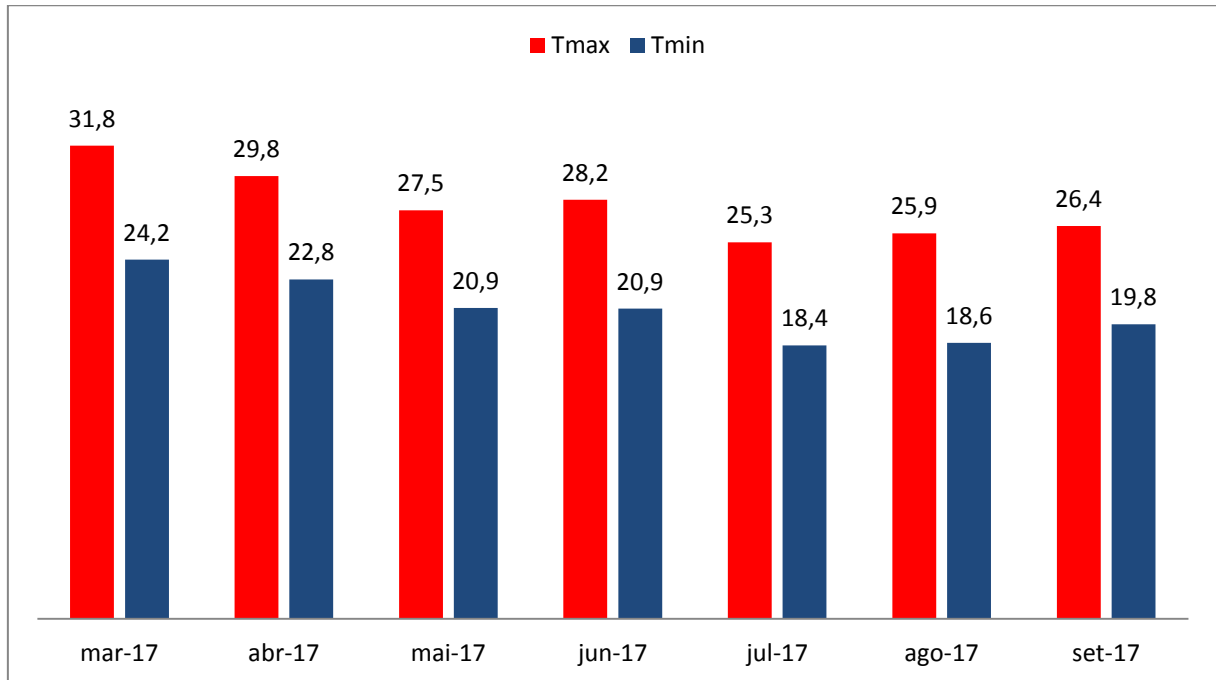
FIGURA 6 - VOLUME MÉDIO DIÁRIO DE BIOGÁS PRODUZIDO PELA ETE PILOTO.



FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

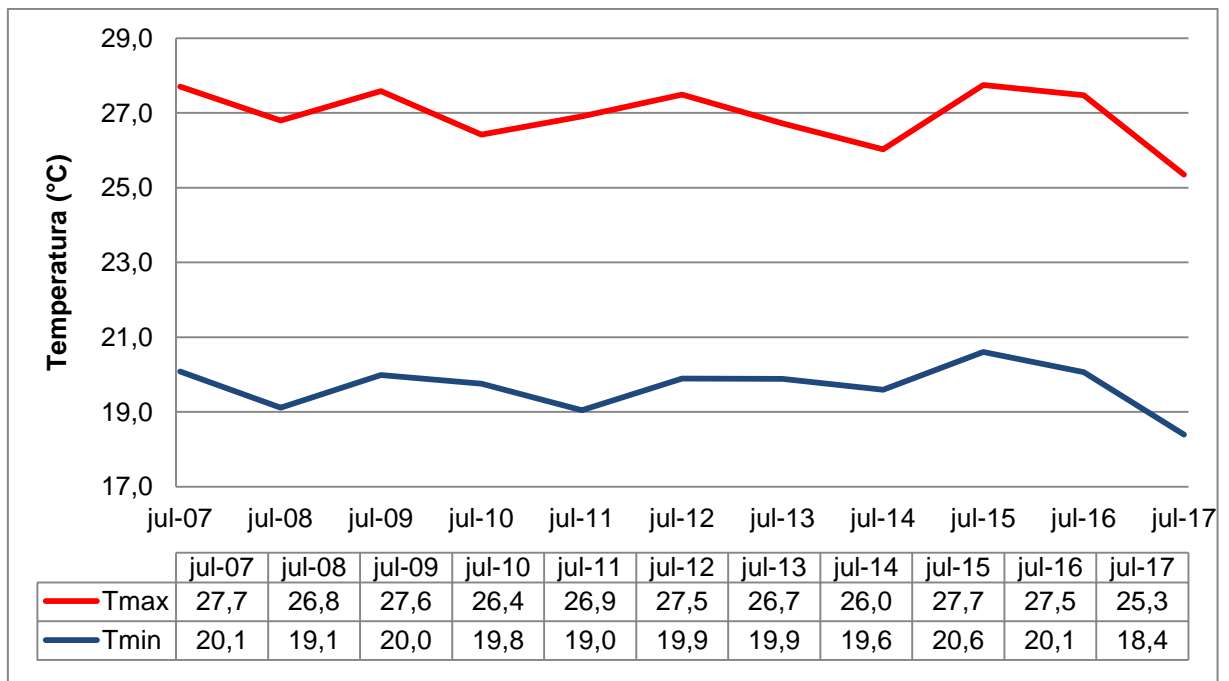
Sabendo disto e avaliando-se a FIGURA 7, é possível inferir que a temperatura foi fator determinante na redução da oferta de biogás pelo reator UASB 1. Neste período, os meses de junho, julho, agosto e setembro apresentaram temperaturas mínimas médias inferiores ou muito próximas a 20°C, afetando assim as reações biológicas que geram o biogás. Além disto, julho, agosto e setembro registraram as menores temperaturas mínimas médias dos últimos 10 anos para este período, FIGURA 8, FIGURA 9 e FIGURA 10, respectivamente. Porém, é importante destacar que em março o volume médio registrado também foi baixo (quando comparado com a média mensal), apesar de ser um mês de altas temperaturas. Atribui-se isto ao fato de que no mês em questão houve apenas duas medidas de produção de biogás, o que torna a média pouco expressiva para o mês.

FIGURA 7 - TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO PERÍODO DA CAMPANHA DE COLETA DE DADOS DE VAZÃO DE BIOGÁS NO REATOR UASB 1.



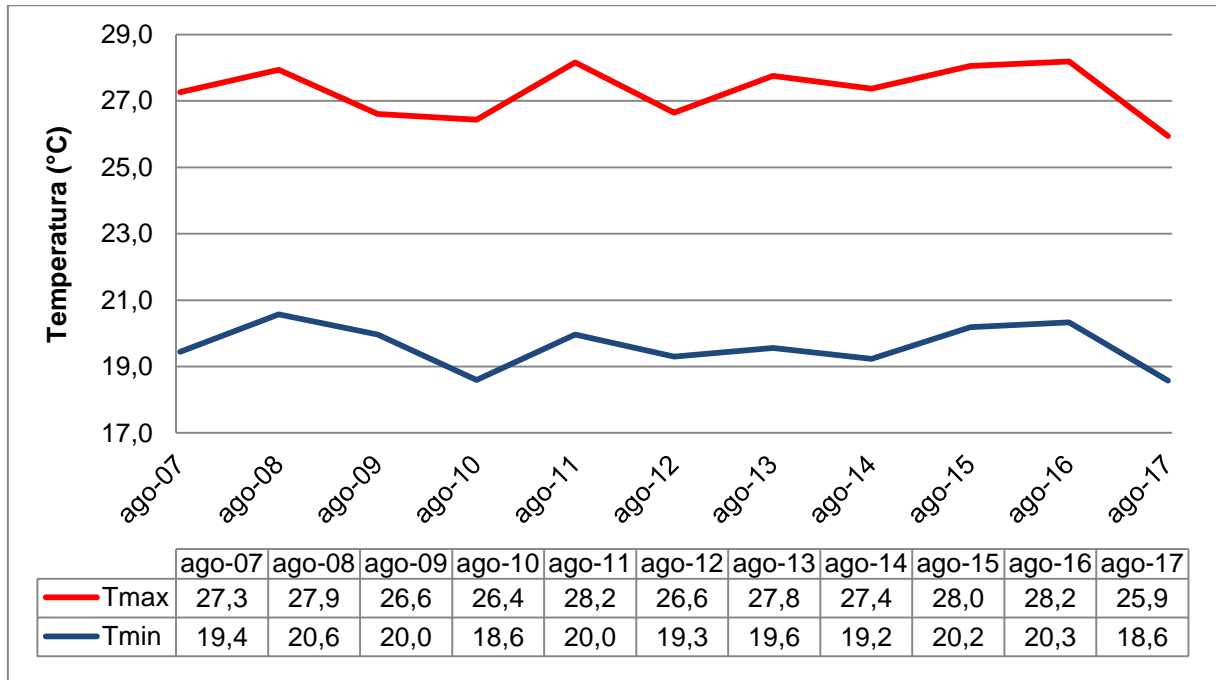
FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

FIGURA 8 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO MÊS DE JULHO.



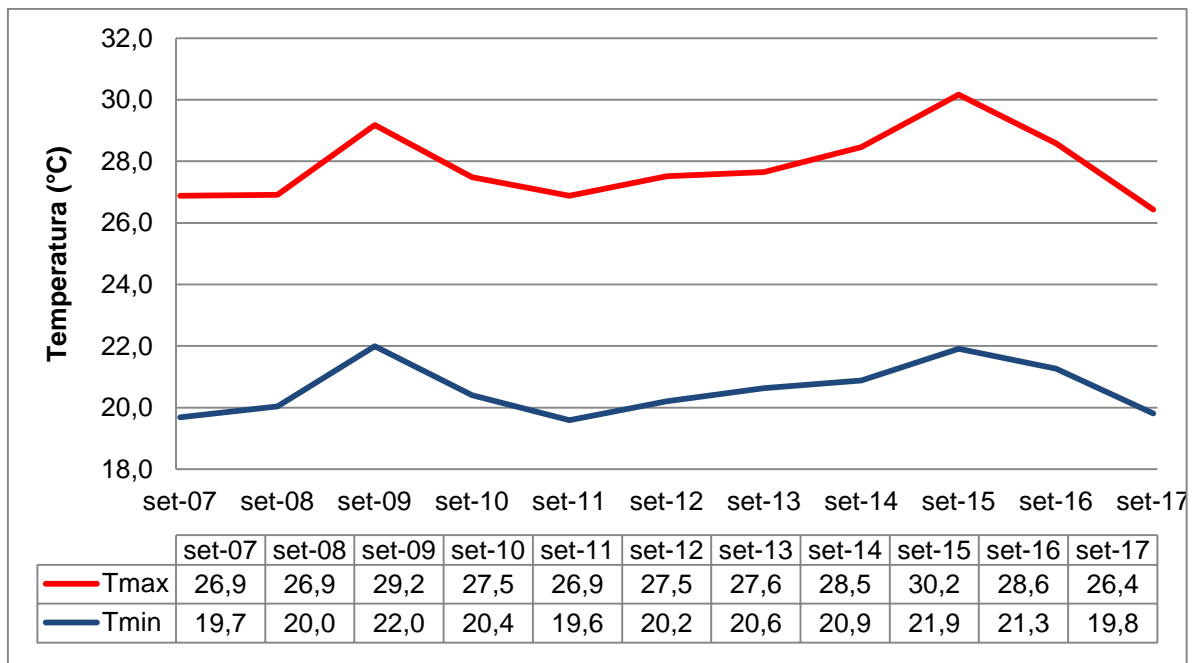
FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

FIGURA 9 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO MÊS DE AGOSTO.



FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

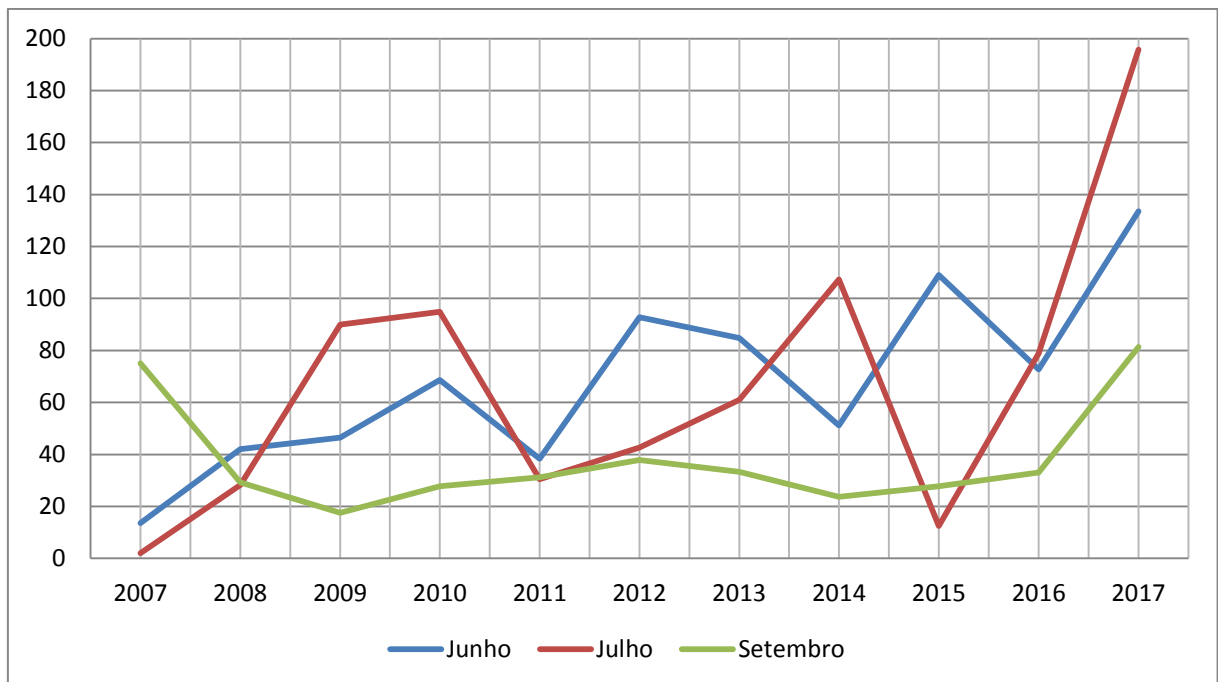
FIGURA 10 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO MÊS DE SETEMBRO.



FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

Além do exposto, em junho, julho e setembro de 2017 também foram registrados os maiores volume pluviométricos da última década, FIGURA 11, segundo dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

FIGURA 11 - SÉRIE HISTÓRICA DE 2007 A 2017 DO VOLUME TOTAL PRECIPITADO NOS MESES DE JUNHO, JULHO E SETEMBRO.



FONTE: Dados do INMET. Elaborado pelo Próprio Autor (2018).

Assim, estas informações também corroboram com a FIGURA 6 e sugerem que períodos chuvosos tendem a ter menores produções de biogás, devido à diluição dos efluentes que, ao apresentarem diminuição da carga orgânica aplicada ao reator, tornam-se menos eficientes para este fim (ASSIS; 2017). Esta evidência permite-nos inferir ainda que há grande volume de residências e estabelecimentos que fazem ligação da rede pluvial na rede coletora de esgoto, afetando assim a eficiência do tratamento do efluente, visto que em Vila Velha é adotado o sistema separador.

5.3 CONSUMO MÉDIO MENSAL DE ENERGIA DA ETE PILOTO

Conforme apresentado, o consumo médio mensal de energia requerida para a operação da ETE Piloto foi calculada baseando-se na quantidade, potência e tempo de funcionamento de cada equipamento por ela utilizado. A partir disto, obteve-se a tabela 3 – adotando-se que um mês é equivalente a 30 dias.

TABELA 3 – CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL CALCULADO DA ETE PILOTO, DE ACORDO COM A POTÊNCIA E O TEMPO DE FUNCIONAMENTO DE CADA EQUIPAMENTO.

Equipamento	Potência (KW)	Funcionamento	Tempo (horas/mês)	Quantidade	Consumo Energético Mensal (kW.h)
Compressor	1,47	2 vezes/semana durante 30 minutos	4	1	5,88
Bomba Centrífuga 1	0,74	30 segundos a cada 12 minutos	30	1	22,06
Bomba Centrífuga 2	0,74	2 minuto/dia	1	1	0,74
Bomba Dosadora	0,0005	24 horas/dia	720	1	0,36
Propulsores das Lagoas de Alta Taxa	1,12	24 horas/dia	720	2	1610,71
Misturador do Sistema de Separação	0,13	24 horas/dia	720	1	93,60
Total	-	-	2195	7	1733,36

FONTE: Próprio Autor (2018).

Para se avaliar o consumo energético mensal da ETE Piloto, comparou-se o seu resultado com alguns apresentados na literatura, tabela 4. A partir disto, pode-se observar que tanto a ETE Piloto, como a ETE *Laboreaux* (ROSA et al., 2016) e a ETE experimental da UFES – ETE UFES - (LITTIG, 2011), têm um consumo energético mensal semelhante.

TABELA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL DA ETE PILOTO E DE RESULTADOS APRESENTADOS NA LITERATURA.

Referência	Sistema	Consumo (kW.h/mês)
Próprio Autor (2018)	ETE Piloto Araçás	1733,36
Rosa et al. (2016)	ETE <i>Laboreaux</i>	1586,00
Littig (2011)	ETE Ufes	1167 - 1666,67

FONTE: Próprio Autor (2018).

Considerando-se o consumo percentual de energia de cada equipamento em relação a todo o sistema, tem-se o resultado apresentado pela tabela 5.

TABELA 5 - REPRESENTATIVIDADE ENERGÉTICA DE CADA EQUIPAMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO PARA OPERAÇÃO DA ETE PILOTO.

Equipamento	Representatividade percentual no consumo de energia
Compressor	0,34%
Bomba Centrífuga 1	1,27%
Bomba Centrífuga 2	0,04%
Bomba Dosadora	0,02%
Propulsores das Lagoas de Alta Taxa*	92,92%
Misturador do Sistema de Separação	5,40%

*Há dois propulsores operando na ETE Piloto.

FONTE: Próprio Autor (2018).

No entanto, ao longo do presente trabalho avaliou-se somente a produção de biogás proveniente do UASB 1, enquanto outras estruturas também mantinham o seu funcionamento normal. Dentre elas, pode-se destacar-se os RAC, que por também utilizar-se de processos anaeróbios são potenciais geradores de biogás. Contudo, uma vez que todo o biogás coletado e apresentado na tabela 1 é exclusivamente referente ao UASB 1, faz-se necessário pontuar que para o seu funcionamento com Codigestão Anaeróbica são necessários apenas a Bomba Centrífuga 1, a Bomba Centrífuga 2 e a Bomba Dosadora. Desta forma, o consumo energético mensal do UASB 1 resume-se a 23,26 kW.h (ou 0,30 kW.h/hab) e cada equipamento a ele relacionado tem sua representatividade neste consumo expressa na tabela 6.

TABELA 6 - REPRESENTATIVIDADE ENERGÉTICA DE CADA EQUIPAMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO PARA OPERAÇÃO DO UASB 1.

Equipamento	Representatividade percentual no consumo de energia
Bomba Centrífuga 1	95,27%
Bomba Centrífuga 2	3,18%
Bomba Dosadora	1,55%

FONTE: Próprio Autor (2018)

Portanto, ao se avaliar o consumo energético para a operação de toda ETE Piloto e o consumo energético apenas para operar o UASB 1 com Codigestão Anaeróbica, nota-se que a segunda é responsável por apenas 1,34% de toda energia demandada pelo sistema.

5.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DA ETE PILOTO

O potencial energético da ETE Piloto pode ser determinado considerando a produção média mensal de biogás e, a partir disto, calculando-se as concentrações de metano nele presentes.

Assim, estudando o mesmo projeto piloto e com dados coletados no mesmo período, Assis (2017) calculou as concentrações de metano presente no biogás em função da concentração da DQO afluente fazendo uso da equação proposta por Lobato et al. (2012).

A partir disto, obteve-se que na etapa SCA a produção estimada do gás foi de 0,44 Nm³/dia e na etapa CCA de 0,27 Nm³/dia. Adotando-se o poder calorífico da combustão do metano igual a 35,9 MJ/Nm³, pode-se, por fim, definir o potencial energético mensal deste gás (tabela 7).

TABELA 7 - POTENCIAL ENERGÉTICO DO METANO OBTIDO A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO PELO REATOR UASB 1.

Condição Operacional	Biogás (m ³ /dia)	Metano (Nm ³ /dia)	Potência fornecida (kW)	Geração Energética Mensal (kW.h)
Sem Codigestão Anaeróbica	0,75	0,44	0,18	5,48
Com Codigestão Anaeróbica	0,49	0,27	0,11	3,37

FONTE: Próprio Autor (2018)

Estes valores, contudo, não representam a energia integral obtida a partir do biogás, visto que as alternativas disponíveis têm diferentes rendimentos de conversão em eletricidade e calor. Segundo Lobato (2011), os motores de combustão interna, turbina a gás e microturbinas são as principais tecnologias disponíveis no mercado para cogeração de energia elétrica e térmica. Para Suzuki et al. (2011), os motores de Ciclo Otto e Ciclo Diesel são as alternativas mais viáveis para a conversão do biogás em energia elétrica, apesar de serem comuns e necessárias algumas alterações para que sejam utilizados em sua máxima potência. Na tabela 8 são apresentados alguns rendimentos apontados pela literatura para a geração de energia elétrica.

TABELA 8 - COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO DE ALTERNATIVAS APRESENTADAS PELA LITERATURA PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOGÁS.

Alternativa	Referência		
	Pecora, 2006	CENBIO, 2003 <i>apud</i> Costa, 2006	Lobato, 2011
Motores a Gás (Ciclo Otto) / Combustão interna	30% a 34%	30% a 40%	33% a 36%
Turbinas a Gás para Biogás de Pequeno - Médio Porte	20% a 30%	20% a 30%	22% a 27%
Microturbinas	24% a 28%	24% a 28%	22% a 33%

FONTE: Próprio Autor (2018)

No presente trabalho, considerou-se a geração de eletricidade a partir de motores a combustão interna. Desta forma, baseando-se na **tabela 8**, obteve-se três possíveis faixas de energia elétrica efetivamente produzida baseando-se em dados da literatura, **tabela 9**.

TABELA 9 - ENERGIA EFETIVAMENTE GERADA PELOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DO BIOGÁS.

Condição Operacional	Referências		
	Pecora, 2006	CENBIO, 2003 <i>apud</i> Costa, 2006	Lobato, 2011
	Geração Energética Mensal (kW.h)		
Sem Codigestão Anaeróbica	1,65 a 1,86	1,65 a 2,19	1,81 a 1,97
Com Codigestão Anaeróbica	1,01 a 1,14	1,01 a 1,35	1,11 a 1,21

FONTE: Próprio Autor (2018)

Na etapa SCA teria sido possível obter mensalmente entre 1,65 kW.h e 2,19 kW.h, o que corresponde entre 0,10% e 0,13% do consumo energético demandado para operação de toda a atual estrutura da ETE Piloto. Para operar apenas o UASB 1, o biogás gerado supriria entre 7,12% e 9,46% da energia necessária. Avaliando-se a etapa CCA, os dados apontam que mensalmente pode ser gerado entre 1,01 kW.h e 1,35 kW.h, valores que compreendem entre 0,06% e 0,08% da energia demandada pela ETE e entre 4,36% e 5,83% da energia demandada pelo reator UASB 1. A tabela 10 apresenta uma síntese destes dados.

TABELA 10 - SUPRIMENTO DA DEMANDA ENERGÉTICA DA ETE PILOTO E DO UASB 1 DURANTE AS ETAPAS SCA E CCA.

Condição Operacional	ETE Piloto	UASB 1
Sem Codigestão Anaeróbica	0,10 % a 0,13%	7,12% a 9,46%
Com Codigestão Anaeróbica	0,06% a 0,08%	4,36% a 5,83%

FONTE: Próprio Autor (2018)

Na tabela 11 é feita uma comparação da geração efetiva de energia elétrica gerada por m³ de efluente tratado e por habitante atendido pela ETE. Os resultados obtidos sugerem que a ETE Piloto tem uma geração de energia semelhante à de uma ETE em escala real (ETE *Laboreaux*) e cerca de 100 vezes menor que a de uma ETE experimental (ETE UFES). Assim, acredita-se em duas hipóteses: A operação da ETE Piloto não foi tão eficiente quanto poderia ser e/ou as condições meteorológicas citadas no item 4.4 foram muito influentes na alteração da produtividade de biogás (e conseqüentemente geração de energia) da referida ETE.

TABELA 11 - GERAÇÃO DE ENERGIA *PER CAPITA* E POR VOLUME DE EFLUENTE TRATADO NA ETE PILOTO E EM OUTROS TRABALHOS APRESENTADOS NA LITERATURA.

Referência	Sistema	Consumo (kW.h/m ³ /hab)
Próprio Autor (2018)	ETE Piloto Araçás	2,30E-06 - 3,08E-06
Rosa et al. (2016)	ETE Laboreaux	1,37E-06 - 3,57E-06
Littig (2011)	ETE Ufes	1,46E-04 - 1,75E-04

FONTE: Próprio Autor (2018)

Como visto, a demanda energética mensal tanto para operação da ETE Piloto, como para operação apenas do UASB 1 não é suprida. Porém, os percentuais relativos ao UASB 1 são significativamente maiores que os relativos à ETE Piloto. Desta forma, avaliou-se quais dentre os equipamentos elétricos necessários para operação do UASB 1 CCA podem ser integralmente sustentados pela energia elétrica convertida nos motores de combustão.

A tabela 12 traz estas informações, as quais sugerem que é possível, por exemplo, operar com a Bomba Centrífuga 2 e a Bomba Dosadora apenas com a energia elétrica que é fornecida pela queima do biogás atualmente produzido no processo de tratamento de efluentes na ETE Piloto Araçás.

TABELA 12 - PERCENTUAL DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA ATENDIDA PARA FUNCIONAMENTO DE CADA EQUIPAMENTO NECESSÁRIO PARA OPERAÇÃO DO UASB 1 COM CODIGESTÃO ANAERÓBICA.

Equipamento	Percentual de demanda de energia elétrica atendida
Bomba Centrífuga 1	4,58% a 6,10%
Bomba Centrífuga 2	137,28% a 183,04%
Bomba Dosadora	208,47% a 373,96%
Bomba Centrífuga 2 + Bomba Dosadora	92,17% a 122,89%

FONTE: Próprio Autor (2018)

6. CONCLUSÃO

O projeto instalado na ETE Araçás passou por três etapas de operação, sendo que apenas as duas últimas foram relevantes para o tema aqui analisado. Ao longo deste período, além das mudanças operacionais, houve mudanças nas condições meteorológicas, às trocas de estação do ano. Assim, os resultados obtidos sugerem que a Codigestão Anaeróbica, as chuvas e as baixas temperaturas registradas afetaram os processos biológicos e, conseqüentemente a produção de biogás. Porém, não é possível precisar qual o percentual de contribuição que cada um destes fatores promoveu sobre a produção do biogás.

Atualmente, a ETE Piloto funciona com parte de sua estrutura. Porém, dentre as estruturas em funcionamento, apenas o UASB 1 conta com mensuração do volume de biogás produzido. Esta situação não permite que o real cálculo de autossuficiência da ETE seja feito. Os dados apresentados permitem concluir que a demanda energética operacional tanto da ETE Piloto quanto do Reator UASB 1 são superiores ao fornecimento de energia feito pelo biogás gerado no UASB 1, o que motivou avaliações relativas apenas aos equipamentos necessários para operação do UASB 1. Por meio desta análise, observou-se que entre a etapa SCA e a etapa CCA houve redução entre 2,76% e 3,63% na capacidade de suprimento de demanda do reator.

A partir disto, fez-se nova análise para o suprimento de energia elétrica, desta vez de forma individual para os equipamentos relacionados à operação do UASB 1. Com base nestes dados, pode-se concluir que nas atuais condições o reator anaeróbico em questão pode suprir até 100% da demanda da Bomba Centrífuga 2 e da Bomba Dosadora e, portanto, traz parcial autossuficiência para a atual operação do UASB 1.

Para futuros trabalhos, sugere-se a coleta de uma maior série de dados de produção de biogás, bem como a avaliação deste sistema quando todas as suas estruturas estiverem operando normalmente.

REFERÊNCIAS

- ANUNPUTTIKUL, W.; RODTONG, S. **Laboratory Scale Experiments for Biogas Production from Cassava Tubers**. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)". Hua Hin: 6 p. 2004.
- ASSIS, T. I. **Codigestão Anaeróbia de Esgoto Sanitário e Lodo Algáceo em um Reator UASB**. 2017. 163 (Mestrado). Engenharia Ambiental, Ufes, Vitória.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: IBGE, 2008. 219 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 5 p.
- CABRAL, C. B. G. et al. Evaluation of Biogas Production and Energy Recovery Potential in 5 Full-Scale WWTPs with UASB Reactors. **Chemical Engineering & Process Techniques**, 2017. ISSN 2333-6633.
- CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB 1999.
- CHERNICHARO, C. A. D. L. **Reatores Anaeróbios**. 2. Belo Horizonte: 2011. 380.
- CHOONG, Y. Y. et al. Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: A critical review. **Bioresource Technology**, v. 209, p. 369-379, 2016.
- COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 176 (Mestrado). Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE), USB, São Paulo.
- ENDO, A. et al. A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 11, p. 20-30, 2017.
- GONÇALVES, R. F. **Estaciones de tratamiento de aguas residuales Brasileñas neutras en el consumo de energía eléctrica**. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid: 6 p. 2016.
- JORGE, L. H. D. A.; OMENA, E. **Biodigestor**. Dossiê Técnico. Manaus: 28 p. 2012.
- LEW, B. et al. An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 7, p. 4921-4924, 2011.

LIMA, T. D. A. et al. **Avaliação experimental da produção de biogás através da co-digestão de resíduos sólidos orgânicos com lodo de esgoto. XIII Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social.** UFSC, Florianópolis: 15 p. 2016.

LITTIG, V. S. **Geração de Energia Elétrica a partir do biogás produzido em Estações de Tratamento de Esgoto.** 2011. (Graduação). Departamento de Engenharia Elétrica, Ufes, Vitória.

LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**, v. 66, n. 12, p. 2745-2753, 2012.

MAMANI, L. A. B. **Desenvolvimento de um Reator para Geração de Biogás a partir de Biomassa de Microalgas como Alternativa Energética nas Áreas Rurais.** 2015. (Mestrado). Escola Politécnica, UFBA, Salvador.

MEIER, L. et al. Photosynthetic CO₂ uptake by microalgae: An attractive tool for biogas upgrading. **Biomass and Bioenergy**, v. 73, p. 102-109, 2015.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** Nova Iorque: Tata McGraw-Hill, 2003. 1819.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP - Estudo de Caso.** 2006. 152 (Mestrado). Instituto de Eletrotécnica e Energia, USP, São Paulo.

ROSA, A. P. et al. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 315-328, 2016. ISSN 1413-4152. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000200315&nrm=iso >.

SUZUKI, A. B. P. et al. Uso de biogás em motores de combustão interna. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 221-237, 2011. ISSN 1984-7548.

SYKES, R. M. Biological Wastewater Treatment Processes. In: CHEN, W. F. e LIEW, J. Y. R. (Ed.). **The Civil Engineering Handbook**. 2. Florida, 2002. cap. 11, ISBN 9781420041217.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** 8. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 211 ISBN 85-85266-05-8.