



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

USO DE CÁLCULO ESTEQUIOMÉTRICO PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS OBTIDO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ

USE OF STEQUIOMETRIC CALCULATION TO EVALUATE BIOGAS PRODUCTION OBTAINED FROM COFFEE WASTE WATER

Eveline Oliveira Malaquias¹, Antônio Augusto Martins Pereira Junior², Pedro Henrique Poubel Mendonça da Silveira³, Leandra Altoé^{4*}, & Cláudia Rodrigues Teles⁵

^{1,4,5}Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo.

^{2,3}Departamento de Engenharia de Materiais do Instituto Militar de Engenharia

¹evelineomalaquias@gmail.com ²antonio.cinetics@gmail.com ³pedroo.poubel@gmail.com

^{4*}leandra.altoe@ufes.br ⁵claudia.teles@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 26.02.2021

Aprovado em: 05.04.2021

Disponibilizado em: 03.05.2021

PALAVRAS-CHAVE:

Fontes Renováveis de Energia; Biomassa; Biogás; Cafeicultura; Resíduos Agrícolas.

KEYWORDS:

Renewable Energy Sources; Biomass; Biogas; Coffee growing; Agricultural waste.

*Autor Correspondente: Altoé, L. A.

RESUMO

O agronegócio destaca-se por sua participação na economia brasileira e pela expressiva geração de emprego e renda. Neste setor, a atividade cafeeira tem grande importância, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial deste grão. Porém, seu cultivo gera grande quantidade de resíduos que, se não tratados de maneira adequada, podem ser altamente prejudiciais ao provocar impactos e desequilíbrios ao meio ambiente. Quando o processamento do café é realizado por via úmida, é gerado um efluente com elevado teor orgânico, denominado água residuária do café (ARC). Objetivou-se analisar o potencial da produção de biogás a partir da ARC em uma propriedade rural de Minas Gerais. Foram consideradas amostras tratadas por via úmida, coletadas em uma fazenda que produz café arábica, situada em Conselheiro Pena – Minas Gerais. As

amostras foram submetidas a análises físico-químicas e em seguida, avaliada a produção de metano, que compõe o biogás, por cálculo estequiométrico. Verificou-se que a quantidade de metano gerado não foi suficiente para justificar o uso energético da ARC para a propriedade rural estudada. Uma alternativa seria a co-digestão para aumentar a carga orgânica e, conseqüentemente, o potencial de geração de energia.

ABSTRACT

Agribusiness stands out for its participation in the Brazilian economy and for the expressive generation of jobs and income. In this sector, coffee activity is of great importance, with Brazil being the world's largest producer and exporter of this grain. However, its cultivation generates a large amount of waste that, if not properly treated, can be highly harmful in causing impacts and imbalances to the environment. When the coffee is processed in a wet way, an effluent with a high organic content, called coffee wastewater (ARC), is generated. The objective was to study the potential of biogas production from ARC in a rural property in Minas Gerais. Samples treated with wet conditions, collected on a farm that produces Arabica coffee, were considered in Conselheiro Pena - Minas Gerais. The samples were subjected to physical-chemical analysis and then the production of methane, which makes up the biogas, was evaluated by stoichiometric calculation. It was found that the amount of methane generated was not sufficient to justify the energy use of ARC for the studied rural property. An alternative would be the co-digestion to increase the organic load and, consequently, the potential for energy generation.



INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2012), a população mundial será superior a 8 bilhões de pessoas em 2024 e irá ultrapassar os 9,5 bilhões de habitantes em 2050. O aumento populacional carrega consigo a necessidade de se obter recursos que sejam suficientes para suprir as necessidades da humanidade, como produtos de manufatura, bens essenciais como alimentos, água e energia (Saath & Fachinello, 2018). Algumas projeções apontam que o consumo mundial de energia deve aumentar cerca de 28% entre 2015 a 2040, e o suprimento a longo prazo da Terra pode ser comprometido devido aos padrões de produção e consumo de energia atuais, baseados em fontes fósseis que contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e outros poluentes (Kamran *et al.*, 2020).

O consumo crescente e a preocupação com relação às questões socioambientais causadas pelas fontes tradicionais incentivaram os governos e a sociedade a pensarem em novas alternativas para geração de energia (Mohammadi & Mehrpooya, 2018). Entre tais ações, está a Agenda 2030 das Nações Unidas, que se refere a um plano de ação global para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade. Esta Agenda é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), entre eles, o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 (Energia acessível e Limpa) que tem a missão de “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos”. Foram propostas três metas para o atendimento da ODS 7, dentre as quais pode-se ressaltar o aumento substancial da participação de fontes renováveis na matriz energética global (ONU, 2015).

O Relatório do Balanço Energético Nacional, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), tendo por base o ano de 2019, apresenta a matriz energética brasileira com 46,1% da oferta interna advinda de fontes renováveis, onde 8,4% é proveniente da biomassa. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019), a utilização da biomassa para geração de energia elétrica tem aumentado no país, com a utilização de sistemas de cogeração nos setores industriais e de serviços.

A energia proveniente de biomassa é definida como uma fonte de energia produzida a partir de materiais biológicos não fósseis, podendo vir dos habitats oceânicos e de água doce, assim como da terra (Eichler *et al.*, 2015). Entre as formas de aproveitamento de energia da biomassa, está o biogás, o qual pode ser produzido a partir de resíduos agrícolas, resíduos sólidos urbanos, lodo de esgoto e diversos resíduos agroindustriais orgânicos (Demirel, 2014).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019), o Brasil ocupa a primeira posição no ranking mundial em relação à produção e exportação de café, e a segunda posição em relação ao consumo desta bebida. Apenas em 2017, na pauta da exportação, este produto chegou a movimentar US\$ 5,2 bilhões, com 30,9 milhões de sacas, classificando-se como o quinto produto mais exportado pelo agronegócio. Dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2019) demonstraram que o agronegócio representou 21,1% do Produto Interno Bruto em 2018. A produção do café, neste contexto, representou 4,37% do Valor Bruto da Produção (VBP) – Lavouras e Pecuária (MAPA, 2019).



Segundo Jang *et al.* (2015), os resíduos provenientes do beneficiamento do café consistem em um recurso potencial de biomassa que podem ser processados, de tal modo a viabilizar projetos de geração de energia. Dentre as atividades agroindustriais, os processos de lavagem e descascamento de materiais, como os frutos do cafeeiro, geram águas residuárias ricas em material orgânico e inorgânico que, se não tratadas, podem causar efeitos tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana (Tran *et al.*, 2015; Garcia *et al.*, 2017; Xiao *et al.*, 2017). Cruz-Salomon *et al.* (2017) afirmam que os volumes gerados de água residuária de café (ARC) são, normalmente, ricos em matéria orgânica em suspensão, assim como componentes orgânicos e inorgânicos em solução que se tornam importantes para a produção de biogás.

O biogás consiste em uma mistura de gases resultantes das reações bioquímicas de decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente em efluentes. Sua composição típica é: metano (CH₄) (40 a 90%), dióxido de carbono (CO₂) (10 a 50%), hidrogênio (H₂) (0 a 3%), nitrogênio (N₂) (0 a 2,5%), oxigênio (O₂) (0 a 1%), sulfeto de hidrogênio (H₂S) (0 a 3%), amônia (NH₃) (1 a 0,5%) e monóxido de carbono (CO) (0 a 0,1%) (Bilotta & Ross, 2016).

Vale destacar que o aproveitamento do gás metano proveniente de ARCs traz consigo diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais, reforçando as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Mudanças do Clima (Lei nº 12.187/2009) para a redução de emissões de gases do efeito estufa (GEEs) decorrente do processo biológico de decomposição da matéria orgânica (Bilotta & Ross, 2016). Essas águas residuárias lançadas nos cursos d'água prejudicam seu uso e formam zonas anaeróbicas, com liberação de metano, fenóis e ácido sulfídrico, cujo odor desagradável afeta as populações ribeirinhas (Pinto, 2001). Os fenóis são tóxicos, carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos, podem inibir o crescimento dos microrganismos nos processos biológicos de tratamento e, em concentrações acima de 1 mg L⁻¹, afetam a vida aquática (Veeresh *et al.*, 2005).

Considerando a crescente demanda por energia, somada à escassez de recursos, a necessidade de investimentos em fontes renováveis de energia e a preocupação ambiental, relacionada ao destino dos resíduos agrícolas, o presente estudo propõe uma alternativa para substituir a disposição da ARC no solo e corpos hídricos, optando por sua inserção no processo produtivo como insumo energético nas atividades da cafeicultura. Para isso, foi avaliada a produção de biogás em uma propriedade rural no município de Conselheiro Pena – MG, com emprego de cálculos estequiométricos para quantificar a produção de biogás proveniente da ARC.

METODOLOGIA

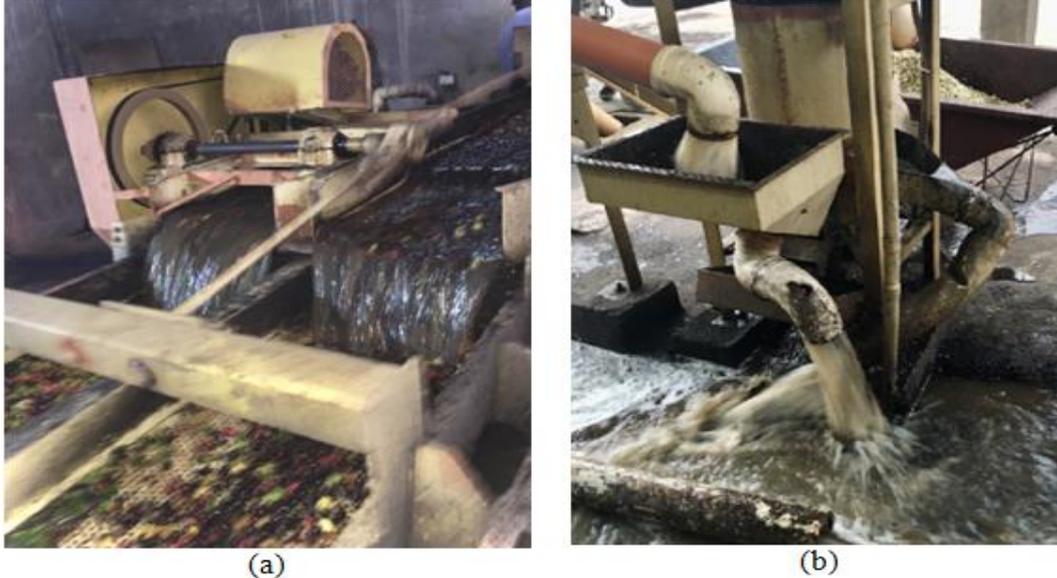
As amostras de ARC foram coletadas na Fazenda Campina Verde, situada no município de Conselheiro Pena, no estado de Minas Gerais. A propriedade rural fica localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 19°24'54.07"S, longitude 41°31'15" e altitude de 855 m. As amostras foram coletadas *in situ* durante a safra de 2019, período no qual ocorre a colheita do café arábica, e conta com estrutura para realizar o processamento do grão, processo que contempla as etapas de colheita, lavagem, despulpamento, pré-secagem, secagem, armazenamento e beneficiamento.

Na visita à propriedade, foi realizada uma entrevista prévia com o proprietário, a fim de mapear o processo produtivo e identificar o percurso do efluente em estudo. Após a etapa de



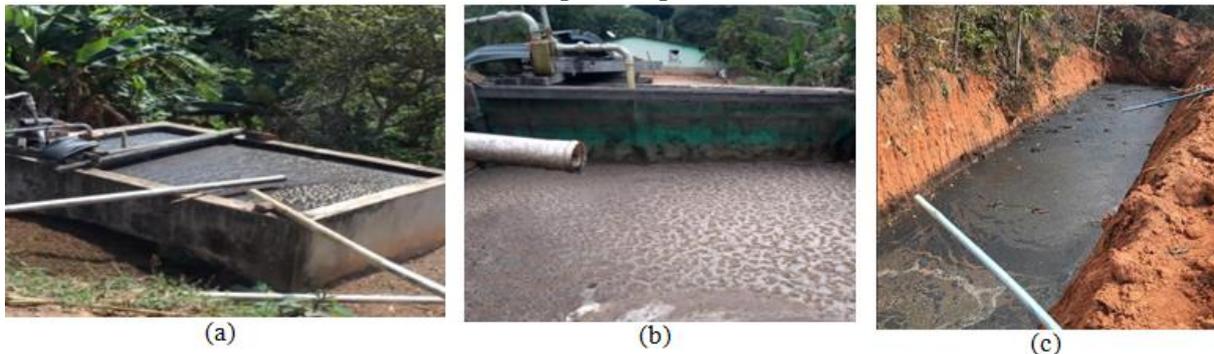
mapeamento do local, foi feita a lavagem e separação dos grãos, seguido do despulpamento dos grãos já maduros (Figura 1).

Figura 1. Processo de despulpamento do grão de café maduro: (a) Lavagem e seleção dos grãos de café entre verde e maduro; (b) Efluente após despolpa do café maduro.



Após o despulpamento, a ARC é encaminhada para a primeira estrutura de armazenamento. O efluente é armazenado primeiramente em um tanque de concreto (Figura 2a), onde recebe tratamento preliminar conduzido mediante processo de filtração, ocorrendo a remoção de partículas e resíduos indesejáveis (Figura 2b).

Figura 2. Estrutura de armazenamento temporário da ARC: (a) Reservatório do efluente durante o reuso de 7 dias; (b) Sistema de filtração no tanque para reuso; (c) Dique que armazena a ARC por tempo indeterminado.



Após a filtração, a ARC é direcionada para uma estrutura similar a um dique, no qual é mantida por tempo indeterminado, sendo submetida às ações de fatores bioclimáticos exógenos, como, por exemplo, a evaporação natural. Vale mencionar ainda que após a descarga no dique o efluente não passa por tratamentos sobressalentes (Figura 2c). De acordo com o proprietário, o volume de ARC gerado em uma semana é de aproximadamente 50.000 litros, que são reaproveitados durante a semana nos processos de lavagem e despulpa, e são lançados diariamente no tanque de concreto. Após os sete dias, a ARC é lançada ao dique.

A ARC utilizada neste trabalho foi coletada por amostragem simples, onde as amostras de ARC foram coletadas na saída da tubulação, antes de ser lançada no tanque (Figura 2b). Após a etapa



de coleta, as amostras foram transportadas em um recipiente revestido de isolante térmico, para minimizar possíveis interações ou modificações por agentes exógenos como: variações de temperatura, exposição a impurezas e contaminantes. Os recipientes foram acondicionados no Laboratório de Química Geral e Inorgânica do Centro Universitário do Norte do Espírito Santo (CEUNES), localizado no município de São Mateus-ES.

Para realizar a análise físico-química das amostras, foram consideradas as premissas e determinações técnicas do método *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Foram feitas análises dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos fixos, sólidos voláteis e sólidos totais. Tais variáveis serviram de base para estimar o Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e cálculo da potência térmica, assim como foram utilizadas como parâmetros de entrada na simulação numérica do biodigestor. A análise físico-química das amostras foi conduzida a temperatura de 22,2 °C e pressão atmosférica local de 760 mmHg.

O potencial de produção de metano foi estimado a partir da quantidade de DQO degradado, uma vez que este se refere ao potencial teórico de produção de biogás proveniente da degradação anaeróbia da matéria orgânica. Foi empregado o princípio estequiométrico de equivalência de massa, conforme descrito na Equação 1. Para calcular a equivalência de volume de metano, considerou-se que 1 kg de DQO equivale a 0,35 m³ de metano (Pin, 2018). A partir da estequiometria da reação de combustão do CH₄ (Equação 1), pode-se notar que 16 g CH₄ mol⁻¹ são consumidos, enquanto 44 g CO₂ mol⁻¹ são liberados.



A partir da Equação 1, é possível observar que 16g de CH₄ removem 64 g de DQO. Essa relação em volume representa 0,35 m³ de CH₄ por cada 1 kg de DQO degradada nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP). Com essa relação, foi calculada a estimativa de metano em volume (m³). O potencial de produção de metano (BMP) foi calculado por meio da Equação 2, proposta por Pin (2018).

$$BMP = Q_{ef} \cdot (CT_{DQO} - CT_{biom}) \cdot V_{CH_4_DQO} \quad (2)$$

Onde:

BMP: potencial de produção de metano [m³.dia⁻¹];

Q_{ef} : vazão do efluente líquido a ser degradado [m³.dia⁻¹];

CT_{DQO} : carga de DQO convertida em CH₄ [kgDQO.m⁻³];

CT_{biom} : carga de DQO convertida em biomassa microbiana, [kgDQO.m⁻³] (18% da CT_{DQO});

$V_{CH_4_DQO}$: volume de CH₄ produzido por massa de DQO removida [0,35 m³.kgDQO⁻¹].

A estimativa de potência térmica gerada a partir do BMP foi calculada por meio da Equação 3, adaptada de CETESB (2006). Para este estudo, considerou-se uma eficiente coleta do biogás em 99%, admitindo vazamentos controlados em cerca de 1%, conforme apontado por Meneses-Jácome *et al.* (2016). Para a conversão em calor na combustão do metano a eficiência admitida foi de 88% (ELETROBRÁS, 2005). O período de consumo diário foi de 28.800 segundos, equivalentes a 8 horas, referente à jornada de trabalho na referida propriedade rural.



Citação (APA): Malaquias, E. O. Pereira-Junior, A. A. M., da Silveira, P. H. P. M., Altoé, L., & Teles, C. R. (2021). Análise do potencial energético da produção da água residuária do café em uma propriedade rural de Minas Gerais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(2),48-58.

$$P_{ot} = \frac{BMP \cdot PC_{CH_4}}{t_{consumo}} \cdot E_c \cdot \eta_c \cdot \frac{k}{1000} \quad (3)$$

Onde:

P_{ot} : Potência térmica disponível por dia [kW];

PC_{CH_4} : Poder Calorífico do CH_4 35,53. 10^6 [J.m⁻³CH₄];

E_c : Eficiência de coleta do biogás [%];

η_c : Eficiência da conversão em calor na combustão do CH_4 [%];

k : Constante de decaimento [adimensional];

$t_{consumo}$: Período de consumo diário [s].

Por meio da Equação 4, foi calculada a geração de energia térmica na fazenda considerando um mês de trabalho, durante 8h por dia.

$$E = P_{ot} \cdot t \quad (4)$$

Onde:

E : Energia térmica [kWh];

P_{ot} : Potência [kW];

T : Tempo [h].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises físico-químicas das amostras de ARC (I à VII) foram realizadas mediante aplicação dos métodos padrão para exame de água e esgoto (APHA, 2012) (Tabela 1).

Tabela 1. Análises físico-químicas das amostras de ARC.

| Amostra | Vol. [mL] | m ₀ [g] | m ₁ [g] | m ₂ [g] | ST [mg/L] | STV [mg/L] | SFT [mg/L] | pH |
|---------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|------------|------------|------|
| I | 100 | 83,5 | 83,8 | 83,5 | 2.890 | 2.350 | 585 | 3,93 |
| II | 50 | 39,7 | 39,9 | 39,7 | 2.784 | 2.190 | 594 | 3,93 |
| III | 50 | 37,7 | 37,5 | 37,4 | 2.832 | 2.180 | 652 | 3,93 |
| IV | 50 | 34,8 | 35,0 | 34,9 | 4,084 | 3.250 | 834 | 3,93 |
| V | 50 | 37,3 | 37,5 | 37,4 | 4.030 | 3.130 | 900 | 3,93 |
| VI | 50 | 39,7 | 39,9 | 39,8 | 3.518 | 2.716 | 802 | 3,93 |
| VII | 50 | 39,5 | 39,7 | 39,6 | 3.616 | 2.548 | 1.068 | 3,93 |

Legenda: Vol. = Volume; m₀ = massa da cápsula vazia; m₁ = massa da cápsula após retirar da estufa a 105 °C; m₂ = massa da cápsula após retirar da mufla a 550 °C; ST = Teor de sólidos totais; STV = Teor sólidos voláteis; SFT = Teor sólidos fixos.

As amostras IV e V apresentaram coloração escurecida, aliado à presença expressiva de partículas sólidas. Essas partículas representam impurezas presentes na ARC. As amostras VI e VII apresentaram coloração mais clara e ausência de partículas macroscópicas. O pH, por sua vez, apresentou-se igual para todas as amostras, considerando resultados com três números



significativos. As medições de DQO são apresentadas na Tabela 2 e os dados de DQO degradado serviram de base para calcular o metano produzido (Tabela 3).

Tabela 2. Medições de DQO nas amostras de ARC.

| Amostra | DQO [mg de O ₂ /L] | DQO [kg O ₂ /L] |
|---------|-------------------------------|----------------------------|
| I | 451 | 0,00045 |
| II | 451 | 0,00045 |
| III | 286 | 0,00029 |
| IV | 676 | 0,00068 |
| V | 676 | 0,00068 |
| VI | 611 | 0,00061 |
| VII | 611 | 0,00061 |

A partir dos resultados da Tabela 2, é observado que as medidas relativas a DQO são dadas pela razão entre a massa de oxigênio dissolvida e o volume da respectiva amostra. Diante disso, as amostras IV e V apresentam maiores valores para DQO em relação às demais. Os valores obtidos para a obtenção de CH₄ presentes na Tabela 3 são inferiores aos obtidos por Pin (2018), onde seus resultados já se apresentam baixos (abaixo de 1% de CH₄).

Tabela 3. Estimativa de metano produzido a partir das amostras de ARC.

| Amostra | Metano [g] | DQO [g] | Metano [m ³] | DQO [Kg] |
|---------|------------|---------|--------------------------|----------|
| I | 0,113 | 0,4508 | 0,00016 | 0,00045 |
| II | 0,113 | 0,4508 | 0,00016 | 0,00045 |
| III | 0,071 | 0,2856 | 0,00010 | 0,00029 |
| IV | 0,169 | 0,676 | 0,00024 | 0,00068 |
| V | 0,169 | 0,676 | 0,00024 | 0,00068 |
| VI | 0,153 | 0,611 | 0,00021 | 0,00061 |
| VII | 0,153 | 0,611 | 0,00021 | 0,00061 |

Essa produção de CH₄ pode ser explicada pela provável prevalência de bactérias acidogênicas no biodigestor. A alta presença de ácidos graxos voláteis e CO₂ na acidogênese afeta negativamente a produção de CH₄, conforme Novita (2016). Na Tabela 4 são apresentados os dados de DQO degradada, assim como o potencial de produção de metano (BMP). O volume de metano apresentado na tabela foi calculado a partir da Equação 1, explicitada na metodologia deste trabalho. Para estimar o BMP foi considerada a média semanal de produção de ARC na propriedade, cerca de 50 mil litros (7.142,85 litros por dia) que responde por uma vazão diária de 297,62 litros por hora.



Tabela 4. Estimativa de metano produzido a partir das amostras de ARC geradas diariamente na propriedade rural.

| Amostra | CT _{DQO} [kgDQO.m ⁻³] | CT _{biom} [kgDQO.m ⁻³] | V _{CH4} [m ³ .kgDQO ⁻¹] | BMP [m ³ /dia] |
|---------|---|--|--|---------------------------|
| I | 2,86 | 0,51 | 0,00016 | 0,0027 |
| II | 2,86 | 0,51 | 0,00016 | 0,0027 |
| III | 2,86 | 0,51 | 0,00010 | 0,0033 |
| IV | 2,86 | 0,51 | 0,00024 | 0,0040 |
| V | 2,86 | 0,51 | 0,00024 | 0,0040 |
| VI | 2,86 | 0,51 | 0,00021 | 0,0035 |
| VII | 2,86 | 0,51 | 0,00021 | 0,0035 |

A Tabela 5 apresenta a geração de potência térmica e energia a partir do biogás obtido das ARC. A propriedade rural apresenta um consumo médio de energia elétrica de cerca de 7.567,30 kWh por mês. Com base nas estimativas, pode-se inferir que a energia média gerada, 0,00597 kWh/mês, não é suficiente para suprir a demanda energética da fazenda.

Tabela 5. Geração de potência e energia térmica por meio de biogás de ARC para a propriedade rural estudada.

| Amostra | P _{ot} [kW] | E [kWh/mês] |
|--------------|----------------------|----------------|
| I | 0,00001 | 0,00205 |
| II | 0,00002 | 0,00409 |
| III | 0,00001 | 0,00314 |
| IV | 0,00004 | 0,00907 |
| V | 0,00004 | 0,00907 |
| VI | 0,00003 | 0,00718 |
| VII | 0,00003 | 0,00718 |
| Média | 0,00002 | 0,00597 |

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5, observa-se a existência de uma relação entre produção de biogás com a redução de carga orgânica, uma vez que o metano, que é o principal componente do biogás, foi produzido em maior quantidade nas amostras com maior carga orgânica. A carga orgânica foi encontrada nas amostras do efluente a partir da análise físico-química, indicando que a ARC se constitui um recurso potencial de biomassa.

Novita (2016) demonstrou que altas concentrações de compostos fenólicos podem inibir as atividades microbiológicas do lodo granular adicionado à ARC como inóculo. Corro *et al.* (2013) afirmaram que para degradar os compostos tóxicos presentes na polpa do café, são



necessárias altas concentrações de bactérias, o que justifica a necessidade de adição de inóculo na ARC para a produção de biogás.

Verificou-se um potencial de geração de energia inexpressivo para a ARC na propriedade rural em questão. A baixa carga orgânica das amostras analisadas pode estar relacionada à diversos fatores, entre eles, baixa concentração do efluente e condições desfavoráveis de armazenamento na propriedade rural. Entre as alternativas para aumentar o potencial de geração de energia, pode-se ajustar o processo produtivo de modo a melhorar a qualidade do efluente gerado e realizar a co-digestão, associando dois ou mais substratos a fim de melhorar a produtividade do biogás e fornecer equilíbrio à relação carbono/nitrogênio, importantes componentes do biogás (Zhang *et al.*, 2016).

A co-digestão pode ser realizada adicionando outros resíduos à ARC, por exemplo, água residuária de suinocultura, bovinocultura e/ou avicultura. Ressalta-se que há misturas ideais para diferentes resíduos para potencializar a geração de biogás e um profissional deve ser consultado para este propósito. Mata Alvarez *et al.* (2014) destaca a eficiência da digestão conjunta de resíduos agroindustriais e de produção animal. Nos trabalhos de Sagula (2012), Nogueira (2013), Ferrarez *et al.* (2015) e Fernandes (2016) é possível encontrar diferentes propostas de co-digestão. Além da utilização da ARC para produção de biogás, este efluente também pode ser aproveitado como adubo orgânico ou água para fertirrigação (Bonilla, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados, conclui-se que a quantidade de metano gerado não foi suficiente para justificar o uso da ARC para produção de biogás na propriedade rural analisada. Ademais, ressalta-se que com a adição de outros substratos, o aproveitamento do biogás pode ser vantajoso e resultar em maiores cargas de potência e energia, carecendo de um estudo que faça esta análise.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização desta pesquisa com a montagem dos biodigestores físicos a fim de comparar a produção de CH₄ ao encontrado por cálculo estequiométrico. Além disso, seria interessante realizar uma análise do potencial de geração de energia da água residuária do café a partir de um processo de co-digestão para a propriedade rural em questão.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2019). Retrospectiva ANEEL - 2019. 2019. Recuperado em 16 agosto, 2020 de: <https://www.aneel.gov.br/publicacoes>.

APHA - American Public Health Association (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. Recuperado em 20 julho, 2020 de: http://www.just.edu.jo/CoursesAndLabs/ENVIRONMENTAL%20ANALYTICAL%20CHEMISTRY_CHEM734/chem%20734.doc.

Bilotta, P., Ross B. Z. L. (2016). Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(2), 275-282. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016141477>



- Bonilla, V. A. (2014). Aproveitamento dos resíduos do processamento semi-seco do café para a produção de compostos de valor agregado (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (2019). PIB Agro CEPEA-USP/CNA. Recuperado em 25 agosto, 2020 de: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2006). Manual do Usuário do Programa de Computador Biogás [Apostila]. São Paulo: CETESB.
- Corro, G., Paniagua, L., Pal, U., Bañuelos, F., Rosas, M. (2013). Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions. *Energy Conversion and Management*, 74, 471-481, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.017>
- Cruz-Salomon, A., Ríos-Valdovinos, E., Pola-Albores, F., Meza-Gordillo, R. (2017). Anaerobic treatment of agro-industrial wastewaters for COD removal in expanded granular sludge bed bioreactor. *Biofuel Research Journal*, 4(4), 715-720. <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.4.3>.
- Demirel, B. (2014). Major pathway of methane formation from energy crops in agricultural biogas digesters. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(3), 199-222. <https://doi.org/10.1080/10643389.2012.710452>
- Eichler, P., Santos, F., Toledo, M., Zerbin, P., Schmitz, G., Alves, C., Ries, L., Gomes, F. (2015). Biomethanol production via gasification of lignocellulosic biomass. *Química Nova*, 38(6), 828-835. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150088>.
- ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras. Eficiência Energética no Uso de Vapor (2005). [Manual]. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020 - Ano Base 2019 (2020). [Relatório]. Rio de Janeiro: EPE 2020.
- Fernandes, A. (2016). Água residuária de laticínio em co-digestão com dejetos de bovinos leiteiros (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Botucatu, SP, Brasil.
- Ferrarez, A. H., Oliveira Filho, D., Gracia, L. M. N., Martinez, J. M., Lopes, R. P., da Silva Júnior, A. G., de Souza, N. S. (2015). Potencial de geração de eletricidade com codigestão de resíduos agropecuários na região da Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 4, 302-316.
- Garcia, A. L. H., Matzenbacher, C. A., Santo, M. S., Prado, L., Picada, J. N., Premoli, S., Corrêa, D., Niekraszewicz, L., Dias, J. F., Grivicich, I., Silva, J. (2017). Genotoxicity induced by water and sediment samples from a river under the influence of brewery effluent. *Chemosphere*, 169, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.081>.
- Jang, H., Ocon, J., Lee, S., Lee, J. K., Lee, J. L. (2015). Direct power generation from waste coffee grounds in a biomass fuel cell. *Journal of Power Sources*, 296, 433-439. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.07.059>
- Kamran, M., Fazal, M. R., Mudassar, M. (2020). Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis. *Renewable Energy*, 146, 543-558. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.165>
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2019). Café Brasil. Recuperado em 25 agosto, 2020 de: <http://antigo.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe>.



- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and sustainable energy reviews*, 36, 412-427.
- Meneses-Jácome, A., Diaz-Chavez, R., Velásquez-Arredondo, H., Cárdenas-Chávez, D., Parra, R., Ruiz-Colorado, A. (2016). Sustainable Energy from agro-industrial wastewaters in Latin-America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1249-1262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.036>.
- Mohammadi, A., Mehrpooya, M. (2018) A comprehensive review on coupling different types of electrolyzer to renewable energy sources. *Energy*, 158, 632-655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.073>.
- Nogueira, R. G. S. (2013). Inclusão de cana-de-açúcar triturada em biodigestores abastecidos com dejetos de bovinos de corte confinado (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, Brasil.
- Novita, E. (2016). Biodegradability Simulation of Coffee Wastewater Using Instant Coffee. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 217-229. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.138>
- ONU - Organização das Nações Unidas (2012). Divisão de População, Seção de Estimativas e Projeções Populacionais. Recuperado em 10 agosto, 2020 de: <https://nacoesunidas.org/novo-estudo-da-onu-indica-que-mundo-tera-11-bilhoes-de-habitantes-em-2100/>.
- ONU - Organização das Nações Unidas (2015). Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Recuperado em 10 agosto, 2020 de: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- Pin, B. V. R. (2018). Aproveitamento energético do biogás da digestão anaeróbia da água residuária do café no Sul de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.
- Pinto, A. B. (2001). Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem de frutos do cafeeiro em rampas de tratamento (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Saath, K. C. O., Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2), 195-212. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.
- Sagula, A. L. (2012). Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.
- Tran, V. S., Ngo, H. H., Guo, W., Zhang, J., Liang, S., Ton-That, C. (2015). Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water. *Bioresource technology*, 182, 353-363. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.003>.
- Veeresh, G.S.; Kumar, P.; Mehrotra, I. (2005). Treatment of phenol and cresol in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process: a review. *Water Research*, 39, 154-70, 2005. [10.1016/j.watres.2004.07.028](https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.028)
- Xiao, S., Hu, S., Zhang, Y., Zhao, X., Pan, W. (2017). Influence of sewage treatment plant effluent discharge into multipurpose river on its water quality: A quantitative health risk assessment of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Pollution*, 233, 797-805. [10.1016/j.envpol.2017.11.010](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.010).
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J. (2016). Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. *Renewable Energy*, 98, 108-119

