

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA

CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

MARCOS VINÍCIOS DE SOUSA MENDES

**MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO (H₂S) EM
UM BIODIGESTOR EXPERIMENTAL COM SENSOR DE GÁS**

CHAPADINHA – MA

2023

MARCOS VINÍCIOS DE SOUSA MENDES

**MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO (H₂S) EM
UM BIODIGESTOR EXPERIMENTAL COM SENSOR DE GÁS**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Agrícola apresentada a Universidade Federal do Maranhão - UFMA, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Jocélio dos Santos Araújo

CHAPADINHA – MA

2023

MARCOS VINICIOS DE SOUSA MENDES

TCC defendida e aprovada em: 21 de julho de 2023, pela comissão examinadora constituída por:

Prof. Dr. Jocélio dos Santos Araújo
(Orientador)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Esp. André Luís Gomes de Sousa
(Examinador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

Eng. Químico Ilmo Andreisson Marques Ribeiro
(Examinador)
Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão – SEMA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a). Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa Mendes, Marcos Vinicios de.

MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DO GÁS SULFÍDRICO H₂S EM UM BIODIGESTOR EXPERIMENTAL COM SENSOR DE GÁS / Marcos Vinicios de Sousa Mendes. - 2023.

27 p.

Orientador(a): Jocélio dos Santos Araújo.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, UFMA, 2023.

1. ARDUINO. 2. AUTOMAÇÃO. 3. Biomassa. I. Santos Araújo, Jocélio dos. II. Título.

Dedico este trabalho a meus pais Antônio
aires e Francisca Brito, minha esposa
Cassiane Garreto aos meus filhos Julia Maria
e Pedro Vinicios, que com muito amor e
carinho me apoiaram incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, a todos os professores em que tive a oportunidade de estudar, em especial ao meu Orientador Prof. Dr. Jocélio dos Santos Araújo, que me apoiou muito na reta final do curso.

A minha família que me apoiou desde o início, e me deram suporte significativo nas horas de desânimo. Em especial; meus pais, que me ajudaram nos momentos difíceis e sempre muito dispostos a me apoiar independentemente do dia, hora e sem medidas.

A minha esposa Cassiane Garreto, que sempre ao meu lado com palavras de incentivo, com o apoio aos meus trabalhos até altas horas da noite e não deixando que eu desistisse nos momentos mais difíceis, que por muitas vezes não achava que daria conta.

Aos meus filhos Julia Maria e Pedro Vinícios, em especial a Julia que me auxiliava em algumas atividades e palavras de ânimo e o tempo inteiro torcendo muito.

O meu carinho e eterna gratidão por todos aqueles que direta e indiretamente ajudaram a realizar meu sonho.

“Cultivar a terra com amor e bravura, nobre missão que alimenta o mundo através da agricultura”.

Rafael Nolêto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivo Específico	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Digestão Anaeróbia	14
3.2 Considerações sobre o Sulfeto de Hidrogênio – H₂S.....	15
3.3 Automação com Arduino.....	15
3.4 Módulos Sensores de Gases.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Localização e Período Experimental	17
4.2 Protótipo do Biodigestor Experimental.....	17
4.3 Automação do Sensor do Gás Sulfídrico.....	18
4.4 Preparação da Biomassa	18
4.5 Variável Analisada	18
4.6 Análise Estatística	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

Lista de figuras

Figura 1 - Protótipo do biodigestor experimental com sensor de gás.....	17
Figura 2 – Concentrações média de H ₂ S no biogás nas diferentes semanas.....	20
Figura 3 - Concentração de H ₂ S, em função dos horários.....	21

RESUMO

O monitoramento de gases no processo de biodigestão anaeróbica é de suma importância, pois alguns gases produzidos, a exemplo do gás sulfídrico (H_2S), pode reduzir a eficiência energética do biogás, além de comprometer os componentes utilizados nas plantas de produção de bioenergia. Sendo assim, objetivou-se monitorar a concentração do gás sulfídrico (H_2S) em um biodigestor experimental com sensor de gás. Foi utilizado um protótipo experimental de um reator anaeróbico em batelada, fabricado com bombona em polietileno de alta densidade (PEAD) com capacidade volumétrica total de 20 litros, possuindo tampa removível, com vedação interna em borracha, com anel externo de pressão tipo lacre, permitindo um ambiente anaeróbico. Na parte superior da tampa foi utilizado um módulo sensor, modelo MQ-136, para detecção automática do gás sulfídrico, acoplado a uma plataforma Arduino uno, pré-programada para obtenção da variável respostas em diferentes horários, durante o período de quatro semanas. Foi utilizado esterco de ovinos, misturado com água na proporção de 1:1, que constituiu no substrato para abastecimento em batelada do reator anaeróbico. Para obtenção dos sinais do módulo sensor para a plataforma de prototipagem, foram realizadas através da integração ao módulo Esp8266 Esp-01 Wifi, com Placa de transceptor sem fio 3.0-3.6V LWIP AP, cuja comunicação do módulo com o Arduino foi realizada via serial utilizando os pinos RX e TX, configuradas através de comando AT. Os procedimentos para monitoramento do gás sulfídrico, com o módulo sensor de gás MQ-136, no reator anaeróbico, apresentou leituras regulares, demonstrando que é possível compreender parte do processo de digestão anaeróbica com o uso experimental desse módulo sensor.

Palavras-Chave: Arduino, Automação, Biomassa.

ABSTRACT

The monitoring of gases in the anaerobic digestion process is of paramount importance because some gases produced, such as hydrogen sulfide gas (H_2S), can reduce the energy efficiency of biogas, in addition to compromising the components used in bioenergy production plants. Thus, the objective was to monitor the concentration of hydrogen sulfide gas (H_2S) in an experimental biodigester with gas sensor. An experimental prototype of an anaerobic batch reactor was used, manufactured with a high-density polyethylene (HDPE) drum with a total volumetric capacity of 20 liters, with a removable lid, with internal rubber sealing, with an external ring of pressure type seal, allowing an anaerobic environment. In the upper part of the lid was used a sensor module, model MQ-136, for automatic detection of hydrogen sulfide gas, coupled to an Arduino uno platform, pre-programmed to obtain the variable responses at different times, during the period of four weeks. Sheep manure was used, mixed with water in a ratio of 1:1, which constituted the substrate for batch supply of the anaerobic reactor. To obtain the signals from the sensor module to the prototyping platform, they were performed through the integration to the Esp8266 Esp-01 Wifi module, with Wireless Transceiver Board 3.0-3.6V LWIP AP, whose communication of the module with the Arduino was carried out via serial using the RX and TX pins, configured through AT command. The procedures for monitoring the hydrogen sulfide gas, with the gas sensing module MQ-136, in the anaerobic reactor, presented regular readings, demonstrating that it is possible to understand part of the anaerobic digestion process with the experimental use of this sensor module.

Keywords: Arduino, Automation, Biomass.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de gases no processo de biodigestão anaeróbica é de suma importância, pois alguns gases produzidos, a exemplo do gás sulfídrico (H_2S), pode reduzir a eficiência energética do biogás, além de comprometer os componentes utilizados nas plantas de produção de bioenergia.

Segundo CORTEZ et al. (2008), a energia liberada do biogás é menor que o do metano puro, isto se deve a presença de impurezas em sua composição, que não são substâncias combustíveis, prejudicando o processo de queima por absorverem parte da energia gerada. Segundo os autores supracitados, quanto maiores as concentrações de impurezas, menor será o poder calorífico.

Destaca-se ainda que, em um ambiente anaeróbico, ocorre a formação de gases odorantes que são constituídos de compostos nitrogenados, sulfurados, aldeídos, cetonas, ácidos, alcoóis, ésteres, aromáticos e compostos clorados (SENANTE et al., 2003); destes, o mais importante em termos de odor é o ácido sulfídrico (KARNIK et al., 2003; KIM et al., 2005).

Segundo GONÇALVES (2007) e SOUZA (2010), o biogás contém entre 1% a 5% de H_2S ; já no gás natural pode conter traço em ppm até 20% de H_2S . Mesmo sendo um participante de pequena proporção, o H_2S aparece nas leituras como traço, representada por partes por milhão (ppm), além do odor desagradável (característico de ovo podre) causa diversos danos as instalações produtoras de petróleo e gás natural, além das plantas de utilização de biogás. Suas propriedades corrosivas, em solução aquosa ou em misturas gasosas, podem ser tóxicas mesmo em pequenas concentrações.

Nesse contexto, monitorar a concentração de gases com uso de módulos sensores mesmo em escala experimental, torna-se necessário para permitir a compreensão de algumas fases do processo de digestão anaeróbica, especificamente a sulfetogênese, pois, com a aferição em tempo real, torna-se possível inferir nesse processo, reduzindo as impurezas e melhorando a eficiência energética do biogás.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Monitorar a concentração do gás sulfídrico (H_2S) em um biodigestor experimental com sensor de gás.

2.2 Objetivo Específico

Avaliar o uso do módulo sensor MQ-136, na detecção de gás sulfídrico em diferentes horários para compreender uma fase do processo da biodigestão anaeróbica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Digestão Anaeróbica

O processo de digestão anaeróbica ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual os microrganismos quebraram matéria orgânica complexa, como carboidratos, proteínas, celulose e lipídios, e os convertem em compostos mais simples, como metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, água, amoníaco e hidrogênio, extraindo energia e compostos necessários para seu próprio crescimento (VON SPERLING, 2014).

Segundo CHEN et al. (2008), a digestão anaeróbica pode ser aplicada a uma ampla gama de material, incluindo a matéria orgânica putrescível presente nos resíduos sólidos urbanos, resíduos agrícolas, resíduos agroindustriais e determinados tipos de resíduo industrial. Destaca-se que, o processo anaeróbico tem algumas vantagens sobre o processo aeróbio frente ao baixo consumo de energia de operação e à baixa produção de lodo (KIM et al., 2006), além de ser considerada uma tecnologia viável ao tratamento de resíduos orgânicos, permitindo a produção de bioenergia; produção de substâncias opulentos em nutrientes e condicionadores de solo, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, e suprimir odores (JINGURA; MATENGAIFA, 2009; NESHAT, 2017).

A eficiência da digestão anaeróbica está relacionada a uma série de interações entre diferentes grupos de microrganismos, que possuem diferentes capacidades de degradação, taxas metabólicas, aclimação e manutenção, que ocorrem dentro das unidades de processamento, onde os compostos metabólicos intermediários de um grupo servem como substrato para o desenvolvimento de outros. Bem adaptada, a biomassa tem alta atividade microbiológica e pode suportar mudanças repentinas na taxa de carga orgânica influente, bem como mudanças na velocidade hidráulica (CAMPOS, 1990).

O processo de digestão anaeróbica é composto por uma cadeia em série de reações sequenciais e para que ocorra uma melhor eficiência no processo de fermentação anaeróbica é necessário que se tenha condições favoráveis para o crescimento microbiano, além de fatores como pH, nutrientes, temperatura, umidade e anaerobiose estrita (OLIVEIRA et al., 2011; SOARES et al., 2017).

A digestão anaeróbica acontece em várias rotas metabólicas, com participação de diversos grupos de microrganismos, em que cada grupo possui um comportamento

fisiológico diferente, separando-se, assim, em quatro etapas distintas, senso: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, e se o efluente a ser tratado contiver compostos de enxofre, o processo de digestão anaeróbia pode conter também a fase de sulfetogênese (LUCENA, 2008; SIQUEIRA, 2008).

3.2 Considerações sobre o Sulfeto de Hidrogênio – H₂S

O sulfeto de hidrogênio (H₂S) é um gás incolor, de cheiro desagradável característico, extremamente tóxico e mais denso do que o ar. É bastante inflamável e sua temperatura de autoignição é de 260°C, enquanto o limite de baixa explosividade é da ordem de 4,3% no ar (em volume) MAINIER; VIOLA, (2005).

Segundo os autores supracitados, dentre os mecanismos descritos na literatura para geração do H₂S nos campos de petróleo e gás natural destacam-se o mecanismo bacteriano, o termoquímico associado à oxidação de hidrocarbonetos e o termoquímico que compreende a decomposição térmica de matéria orgânica rica em compostos sulfetados, porém não é formado na presença abundante de oxigênio (SOUZA, 2010).

De acordo com MACHADO et al. (2016), no processo de fermentação anaeróbia dos dejetos, o biogás gerado apresenta alguns contaminantes entre estes está o enxofre na forma de gás sulfídrico (H₂S), que é um gás com odor fétido, tóxico e corrosivo, que danifica os equipamentos e aumenta os custos com a manutenção e substituição dos mesmos.

Autores como O'FLAHERTY; COLLERAN (2000); VINCKE et al. (2001) e CHERNICHARO (2007), destacam que em geral, a produção de H₂S em sistemas anaeróbios de tratamento de dejetos é um processo considerado indesejado, dado que sua produção causa uma série de problemas.

3.3 Automação com Arduino

De acordo com TEIXEIRA; ZIPPIN (2013), a automação é uma tecnologia ligada ao aproveitamento de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, apresentando vantagens na operacionalização, eficiência, precisão, redução de custos entre outros, podendo ser aplicado em diversos setores e atividades econômicas. Enquanto, segundo definição proposta por SILVEIRA; GONÇALVES (2016), Arduino pode ser

compreendido como uma plataforma open source para prototipagem eletrônica, com condições de conhecer o local a partir de seus dispositivos conectados em suas portas de entrada e atuar em ambientes através de dispositivos inclusos e atuadores. O Arduino se comporta como se fosse um pequeno computador onde o indivíduo pode programar suas entradas e saídas, acionar dispositivos externos para executar alguma operação e até transmitir uma informação (SANTOS et al., 2021).

3.4 Módulos sensores de gases

Os sensores de gases MQ pertencem à família dos sensores químicos. De acordo com a definição da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC): um sensor químico é "um dispositivo que transforma informações químicas sobre uma amostra em um sinal analiticamente útil" (HULANICKI et al.,1991).

Os sensores estão amplamente presentes no ambiente da automação, incluindo na residencial. Eles são responsáveis por informar as grandezas físicas que se deseja ter controle, e se fundamentando nestas informações, a fim de, definir sua tomada de decisões com base na automação (WENDLING, 2010).

O uso dos sensores tem se intensificado o desenvolvimento da eletrônica, pois é possível desenvolver uma plataforma de comunicação a microcontroladores, que se tornaram de baixo custo, com baixo consumo energético, e ainda pode se comunicar com os Smartphone através de aplicativos, dessa forma possibilitando o monitoramento de gases (MEAD et al., 2013; LIMA; SILVA, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Período Experimental

O experimento foi realizado no Setor de Tecnologias Sustentáveis e Agroenergia - GETSA, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, localizado no município de Chapadinha, MA, durante o período de agosto a setembro de 2022.

4.2 Protótipo do Biodigestor Experimental

O protótipo de biodigestor experimental (Figura 1), foi fabricado com bombona em polietileno de alta densidade e alto peso molecular (PEAD/HDPE), tampa removível com vedação interna em borracha, com anel externo de pressão tipo lacre da tampa, com capacidade volumétrica de armazenamento de 20 litros, acoplados com válvula de gás P13 de latão $\frac{1}{2}$ " – NPT Externa x $\frac{5}{8}$ UNC interna, adaptado conforme descrito por ARAÚJO et al., (2019).

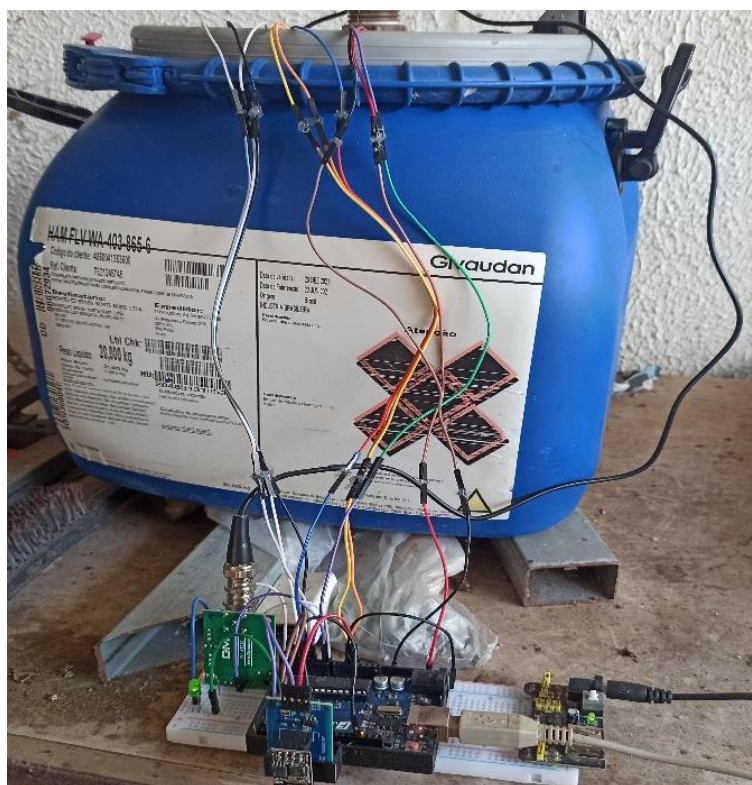


Figura 1 – Protótipo do biodigestor experimental com sensor de gás

4.3 Automação do Sensor do Gás Sulfídrico

Para detecção de gás sulfídrico (H_2S), foi utilizado um módulo sensor MQ-136, Chip: LM393, com Trimpot para calibração do ponto de acionamento, que foi integrado a um microcontrolador de Arduino UNO, que foi acoplado ao protótipo para obtenção da variável resposta. No protótipo de biodigestor experimental foi realizada uma abertura circular com diâmetro compatível ao sensor, que foi fixado e vedado para evitar vazamentos de gases e de forma que permitam o envio das variações elétricas/eletrônicas e leituras para o Arduino UNO, para posterior processamento de dados pelo computador. Os circuitos foram integrados ao módulo Esp8266 Esp-01 Wifi, com Placa de transceptor sem fio 3.0-3.6V LWIP AP, e a comunicação do módulo com o Arduino foi feita via serial utilizando os pinos RX e TX, configuradas através de comando AT, que incluem operações tanto para o estabelecimento e manutenção da rede, como para acesso às portas e conversão analógico/digital.

4.4 Preparação da Biomassa

A biomassa foi constituída de esterco de ovinos, que foi previamente diluída em água, na proporção de 1:1. Posteriormente, a mistura foi homogeneizada. Após essa etapa, o biodigestor foi abastecido em batelada, ou seja, foi acondicionado a biomassa (mistura de água e esterco ovino), no biodigestor experimental, apenas no início do experimento e preenchidos até 50% da capacidade total de armazenamento.

O biodigestor foi monitorado diariamente as 08:00 e 17:00 horas, durante a primeira semana após abastecimento, para averiguar quanto a possíveis vazamentos e homogeneizar os substratos orgânicos e simular os movimentos ruminais, com o objetivo de permitir as condições mínimas necessárias para a fermentação anaeróbica e produção de gases. Também foram realizados testes iniciais para verificar quanto a eficiência do módulo sensor para ajustes nos circuitos elétricos integrados ao sistema de automação.

4.5 Variável Analisada

A variável analisada foi a concentração de gás sulfídrico (H_2S/ppm), que foi obtida através do sensor de gás MQ-136, que é um dispositivo de detector de gás, que possui alta sensibilidade ao H_2S , que foi trabalhado em conjunto com a plataforma de

prototipagem do Arduíno UNO, programado para realizar leituras três vezes ao dia, no intervalo de oito em oito horas (06:00; 14:00 e 22:00 horas) durante 30 dias.

O sistema foi programado para armazenamento de dados através de interface de rede e comunicação, permitindo o armazenamento dos dados em nuvem, através de comunicação externa com outros equipamentos, por meio de rede wireless.

4.6 Análise Estatística

Para a análise dos dados, foi aplicada a estatística descritiva. Os testes estatísticos propostos foram realizados utilizando-se o software estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2, são apresentadas as médias obtidas das concentrações do gás sulfídrico (H_2S) durante as quatro semanas de monitoramento do biodigestor experimental com o sensor de gás.

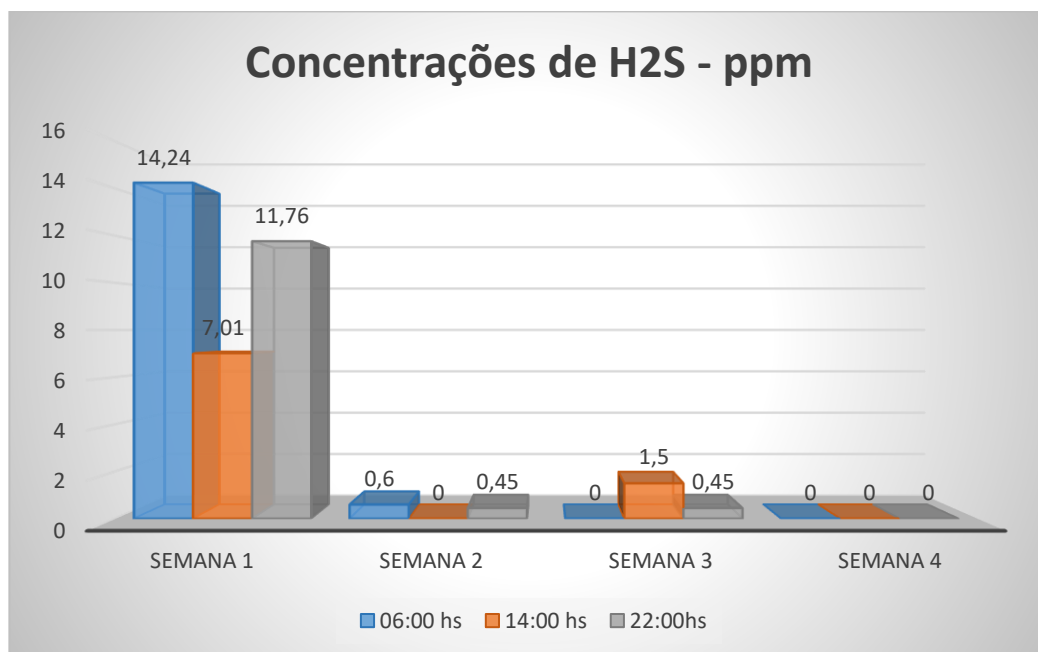


Figura 2 – Concentrações média de H_2S no biogás nas diferentes semanas.

Conforme pode ser observado na figura 2, a concentração de H_2S , foram decrescendo no decorrer do tempo. As biomassas contem substratos nutritivos que são fontes de alimento para os microrganismos anaeróbicos, fornecendo energia para seu crescimento e para as atividades enzimáticas, todavia, outros fatores importantes como o pH, a temperatura, e essa complexa interação ocasiona a produção de biogás e consequentemente os constituintes do mesmo, que são alterados a medida que o tempo passa e ocorre a totalidade da degradação da biomassa, causando diminuição na produção e na concentração dos diferentes gases, entre eles o gás sulfídrico.

Segundo TCHOBANOGLOUS et al. (1993), este decréscimo na geração de gás sulfídrico ocorre, muito provavelmente, devido a uma aceleração na produção de ácidos orgânicos provocada pela atividade microbiana durante a fase ácida da digestão anaeróbia, precursora da fase metanogênica. Enquanto a fase metanogênica vai avançando o processo de biodigestão, estes ácidos, assim como o H_2 (precursor do H_2S)

são gradativamente convertidos em CH_4 e CO_2 , resultando assim na depleção do H_2S . Comparativamente a outros estudos, a emissão de H_2S , seguiu a mesma tendência da curva obtida por SCHIRMER et al. (2014), observando-se uma produção decrescente deste gás durante o período de digestão e (SCHIRMER et al. 2015), que avaliaram o perfil de concentração de gás sulfídrico (H_2S) presente no biogás gerado a partir da biodigestão da fração orgânica dos resíduos sólidos em aterros sanitários.

Segundo TIPPAYAWONG; THANOMPONGCHART (2010), em escala de aterro, a concentração de H_2S no biogás irá depender da composição da matéria orgânica, podendo variar de 100 a 10000 ppm, o que demonstra a grande variação nos valores de concentração em função da natureza do resíduo e das condições de degradação.

Na figura 3, são apresentadas as médias obtidas da concentração de H_2S , durante os diferentes horários de monitoramento do biodigestor experimental com o sensor de gás.

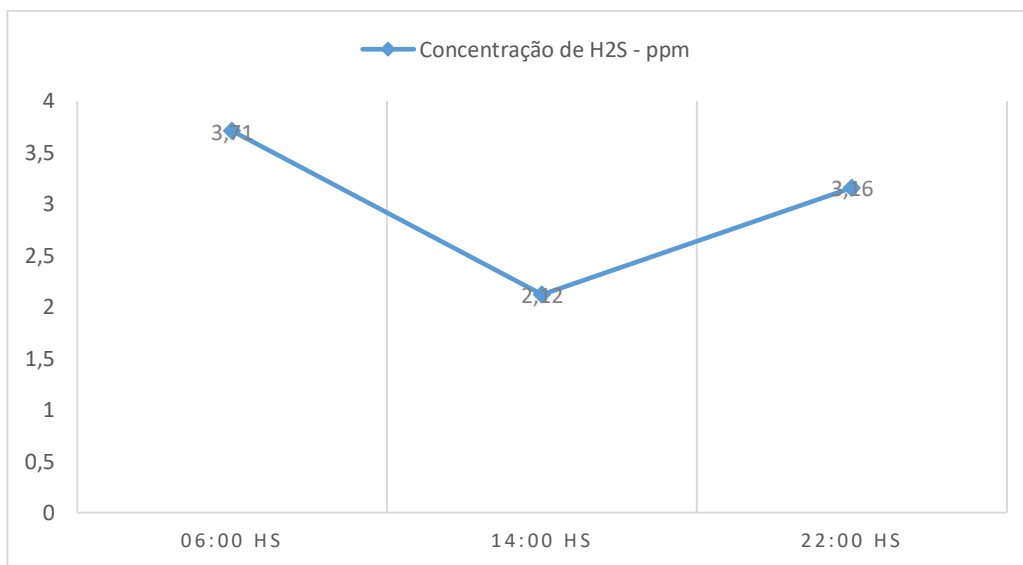


Figura 3 - Concentração de H_2S , em função dos horários.

Analisando a figura 3, observa-se que as médias das concentrações de H_2S , nos distintos horários de monitoramento, permaneceram estáveis no decorrer do dia, nos distintos horários. Essa mesma tendência foi observada até o final do processo da digestão anaeróbica e a completa estabilização da degradação do substrato, quando o módulo

sensor registrou leitura zero (0) na última semana de experimentação nos distintos horários

As médias das concentrações de gás sulfídrico detectadas pelo sensor de gás sulfídrico no biodigestor experimental encontram-se no intervalo da escala de leitura do módulo sensor MQ-136, e são consideradas baixas, quanto a toxicidade, pois segundo COSTIGAN (2003); AD-NETT (2000) o H_2S em baixas concentrações tem cheiro desagradável, e em concentrações mais altas, é mais perigoso, pois não tem cheiro, e por ser mais denso do que o ar e, devido a sua toxicidade, o sulfeto de hidrogênio tem uma OES (occupational exposure standard) de 10 ppm, sendo assim, o biodigestor experimental foi monitorado de forma segura.

6. CONCLUSÃO

Os procedimentos para monitoramento do gás sulfídrico, com o módulo sensor de gás MQ-136, no reator anaeróbico, apresentou leituras regulares, demonstrando que é possível compreender parte do processo de digestão anaeróbica com o uso experimental desse módulo sensor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD-NETT. Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Wastes: Information Networks. Technical Summary on Gas Treatment. Netherlands, 2000.

ARAÚJO, J.S., CABRAL, I.S., MENESES, K.C., COUTINHO, R.S., COSTA, N.A., ARAUJO, J.V.S. & CABRAL, A.S.A. (2019). Batch Biodigester Prototype for Experimental Use. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*. 1(3), 67-70.

CAMPOS, C. M. M. Physical aspects affecting granulations in UASB reactors. 1990. 459p. Thesis (PhD) - University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, 1990.

CHEN, Ye; CHENG, Jay J.; CREAMER, Kurt S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource technology**, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, 2008.

CHERNICHARO, C.A. de L.; ANAERÓBIOS, Reatores. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Reatores anaeróbios**, v. 5, p. 379, 2007.

CORTEZ, L. A. B.; et al. Biomassa para energia. Campinas (SP): Ed. da UNICAMP, 2008.

COSTIGAN, M. G.; Hidrogen sulfide: UK occupational exposure limits. *Occup Environ Med*. 2003; 60:308–312.

FERREIRA, D.F. (2011). Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042.

GONÇALVES, A. T. T. Potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá – MG. Itajubá, 2007. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá.

HULANICKI, Adam; GLAB, Stanislav; INGMAN, FOLKE. Chemical sensors: definitions and classification. **Pure and applied chemistry**, v. 63, n. 9, p. 1247-1250, 1991.

JINGURA, Raphael M.; MATENGAIFA, Rutendo. Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1116-1120, 2009.

KARNIK, M.; SNEATH, R.W.; PERSAUD, K.C. Measuring odour emissions from landfill sites. Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, 2003.

KIM, Jung Kon et al. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. **Journal of Bioscience and bioengineering**, v. 102, n. 4, p. 328-332, 2006.

KIM, K.H.; CHOI, Y.J.; JEON, E.C.; SUNWOO, Y. Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas. *Atmospheric Environment*, v.39, n.6, p.1103–1112, 2005.

LIMA, André Luiz da Rocha; SILVA, Valéria Loureiro da. Dispositivo para monitoramento da qualidade do ar proveniente da emissão de monóxido de carbono (CO) por veículos automotores. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 6, p. 295-305, 2016.

LUCENA, R. M. Identificação molecular da diversidade microbiana em reator UASB de estação de tratamento de esgoto. 2008. 63 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

MACHADO, B. G. Geração e Aproveitamento Energético do Biogás. PROJETO PROBIOGÁS. 2016. 302p.

MAINIER, Fernando B.; VIOLA, Eliana Delaidi Monteiro. O sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o meio ambiente. 2005.

MEAD, M. I. et al. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 186-203, 2013.

NESHAT, Soheil A. et al. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 308-322, 2017.

O'FLAHERTY, V.; COLLERAN, E. Sulfur problems in anaerobic digestion. **International Water Association. Environmental technologies to treat sulfur pollution: principles and engineering. London**, p. 467-89, 2000.

OLIVEIRA, Arley Borges de Moraes et al. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, p. 690-700, 2011.

SANTOS, Gabriel Alexandre et al. APLICAÇÃO DO ARDUINO UNO EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. **PI-Pesquisa e Inovação**, v. 3, n. 1, 2021.

SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J.F.T.; SCHULER, A.R.P.; HOLANDA, S.; JESUS, L.L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.31, n.02, p.373-384, 2014.

SCHIRMER, Waldir Nagel, et al. Avaliação da geração de gás sulfídrico no biogás gerado a partir de resíduos sólidos urbanos. *Ciência & Tecnologia*, 2015, 7.1.

SENANTE, E.; GALTIER, L.; BEKAERT, C.; LAMBOLEZ-MICHEL, L. Odours management at MSW landfill sites: odours sources, odourous compounds and control measures. *Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, 2003.

SILVEIRA, Sandro Moura da; GONÇALVES, Thadeu Santos Silva. Automação residencial utilizando Arduino e SO Android. 2016. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) -Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SIQUEIRA, L. M. Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado. 2008. 130 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. SP. 2008.

SOARES, Caroline Monique Tietz; FEIDEN, Armin; TAVARES, Sidnei Gregorio. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**, v. 5, p. 522-528, 2017.

SOUZA, Cláudio Leite. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. 2010.

TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel A. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. **(No Title)**, 1993.

TEIXEIRA, S. M.; ZIPPIN, R. Casa inteligente: automação residencial a partir do Arduíno. Faculdade Anhanguera de Rio Claro. Rio Claro, SP. 2013.

TIPPAYAWONG, N.; THANOMPONGCHART, P. Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. **Energy**, v. 35, n. 12, p. 4531-4535, 2010.

VINCKE, Elke; BOON, Nico; VERSTRAETE, Willy. Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes—a case study. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 57, p. 776-785, 2001.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª Edição. **Editora UFMG. Belo Horizonte-MG**, 2014.

WENDLING, Marcelo. Sensores. **Universidade Estadual Paulista. São Paulo**, v. 2010, p. 20, 2010.