



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ -IFCE
IFCE CAMPUS FORTALEZA
PRPI - PRÓ REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO ACADEMICO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

LAÍS OLIVEIRA LIMA

SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS FÍSICAS EM
ATERRO SANITÁRIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

FORTALEZA
2023

LAÍS OLIVEIRA LIMA

SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS FÍSICAS EM
ATERRO SANITÁRIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Dissertação, apresentada ao programa de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – *Campus* Fortaleza, como requisito para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732s	Lima, Laís Oliveira. Sistema Microprocessado para Medição de Grandezas Físicas em Aterro Sanitário para Produção de Biogás / Laís Oliveira Lima. - 2023. 54 f. : il. color. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações, Campus Fortaleza, 2023. Orientação: Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia . 1. Medição de grandezas físicas. 2. Microprocessador. 3. Biogás. 4. Aterro Sanitário. I. Título.
-------	--

CDD 621.382

LAÍS OLIVEIRA LIMA

SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS FÍSICAS EM
ATERRO SANITÁRIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Dissertação, apresentada ao programa de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – *Campus* Fortaleza, como requisito para obtenção do Título de Mestra em Engenharia de Telecomunicações. Área de concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovado (a) em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dr. Josias Guimarães Batista
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dr. Antonio Jefferson Manguiera Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC – LOCEM)

A Deus pelo dom da vida, por guiar-me todos os dias e, por ter dado força e determinação nesses momentos de estudos.

Aos meus pais, Antério e Graça, pelo carinho e compreensão.

A minha irmã Cristiane e a minha família por sempre incentivar nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas bênçãos na saúde, proteção, paz, felicidade, por me proporcionar o caminho da superação e por todas as graças alcançadas na minha vida.

Aos meus pais Antério e Graça por me proporcionar a oportunidade de construir e seguir na carreira estudantil, dando-me incentivo e carinho.

A minha irmã Cristiane, por auxiliar em partes da execução desse trabalho seja lendo, revisando ou estando presente em várias etapas da minha vida.

A meu tio Nonato pela motivação, força e por sempre acreditar na minha capacidade, mesmo morando distante, sempre foi próximo através de seus incentivos.

Ao prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia, pela orientação, valiosas horas de reuniões, confiança, paciência, disponibilidade, ideias compartilhadas e inúmeras sugestões recebidas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Elder Teixeira, professora Tarciclê Pontes e ao professor Lourival Junior por confiar na minha capacidade, pelo apoio e contribuição.

Agradeço também aos amigos que me apoiaram durante a minha jornada. Em especial a Rangeliane, Alexciano, Cleiton, Mateus, Luiz, Samuel, João Rolim e aos demais por todos os momentos alegres, paciência, disponibilidade em diversos momentos e pela parceria ao longo dessa jornada.

À banca examinadora pelas sugestões, críticas e elogios que se somaram a este trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível” (Charles Chaplin).

RESUMO

Este trabalho apresenta os estudos realizados sobre um sistema microprocessado para medição das grandezas físicas: umidade do solo, temperaturas interna e externa de pontos de um aterro sanitário, bem como a concentração do biogás, com o intuito de contribuir para a coleta de dados da produção do biogás, fornecendo importantes dados para a gestão administrativa do mesmo. Um aterro sanitário está sujeito no dia a dia a fatores que influenciam muito a quantidade produzida deste gás. Por exemplo, chuvas, grau de insolação, umidade do ar, etc. Desta forma, a medição periódica de algumas grandezas como temperatura, umidade e concentração do gás, ao longo do volume do aterro, em diferentes pontos e profundidades é muito útil na previsão geral do volume produzido. Foram implementados elementos de medição (Temperatura, Concentração de biogás e Umidade do solo), com sensores comerciais e fornecendo dados para um microcontrolador tipo Arduino de forma a haver um armazenamento destes dados. Um protótipo foi montado e os ensaios necessários foram realizados em ambiente aberto, de modo que os princípios de funcionamento e os conceitos da metodologia proposta, foram satisfatórios. Ressalvamos porém que foram apresentados os valores numéricos dos resultados, em unidades arbitrárias (U.A.), uma vez que os teste e ensaios não foram realizados em um aterro sanitário real. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o protótipo apresenta uma ótima resposta, e que os resultados obtidos estão compatíveis com o que se espera do sistema funcionando em um ambiente real, sendo capaz de fornecer dados corretos na sua operação em um aterro sanitário real.

Palavras-chave: Medição de grandezas físicas. Microprocessador. Biogás. Aterro Sanitário.

ABSTRACT

This work presents studies carried out on a microprocessor system for measuring physical quantities: soil humidity, internal and external temperatures at points in a landfill, as well as the concentration of biogas, with the aim of contributing to the collection of production data of biogas, providing important data for its administrative management. A landfill is subject to factors on a daily basis that greatly influence the amount of this gas produced. For example, rainfall, degree of sunshine, air humidity, etc. In this way, the periodic measurement of some quantities such as temperature, humidity and gas concentration, throughout the volume of the landfill, at different points and depths is very useful in the general prediction of the volume produced. Measuring elements (Temperature, Biogas concentration and Soil moisture) were implemented, with commercial sensors and providing data to an Arduino-type microcontroller in order to store this data. A prototype was assembled and the necessary tests were carried out in an open environment, so that the operating principles and concepts of the proposed methodology were satisfactory. However, we emphasize that the numerical values of the results were presented, in arbitrary units (U.A.), since the tests and trials were not carried out in a real sanitary landfill. Based on the results obtained, it is concluded that the prototype presents an excellent response, and that the results obtained are compatible with what is expected from the system operating in a real environment, being capable of providing correct data in its operation in a landfill. real sanitary.

Keywords: Measurement of physical quantities. Microprocessor. Biogas. Landfill

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula estrutural do metano	19
Figura 2 - Total de emissões globais de metano em 2018.....	22
Figura 3 - Emissão anual global de metano na atmosfera	23
Figura 4 - Arduino UNO	27
Figura 5 - IDE do Arduino	29
Figura 6 - Monitor Serial	30
Figura 7 – Sensor de Gás MQ-4	31
Figura 8 – Componente LM 35	31
Figura 9 - Sensor de umidade do solo	35
Figura 10 - Módulo RTC DS1307	33
Figura 11 - Protótipo com módulo RTC - Shield RTC/SD	37
Figura 12 - Diagrama Esquemático	35
Figura 13 - Protótipo com sensor de Temperatura, umidade do solo e sensor de concentração do biogás)	36
Figura 14 - Protótipo – Arduino e todos os sensores (Temperatura, Umidade do Solo e Sensor de Gás MQ4)	36
Figura 15 - Valores medidos de temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 1)	39
Figura 16 - Valores medidos de temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 2)	38
Figura 17 - Valores medidos da temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 3)	41
Figura 18 - Valores medidos no sensor SU_1da umidade do solo (U.A.) (Período 1)	42
Figura 19 - Valores medidos no sensor SU_1da umidade do solo (U.A.) (Período 2)	43
Figura 20 - Valores medidos no sensor SU_1da umidade do solo (U.A.) (Período 3)	44
Figura 21 - Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás.(Período 1).....	45
Figura 22 - Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás.(Período 2).....	46
Figura 23 - Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás.(Período 3).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre o Arduino	28
Tabela 2 - Informações sobre o sensor de umidade do solo - Higrômetro - HW-080.....	32
Tabela 3 - Informações sobre o micro SD	34
Tabela 4 - Estudo de custo de um conjunto sensor completo.....	37
Tabela 5 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 1)	38
Tabela 6 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 2)	39
Tabela 7 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 3)	40
Tabela 8 - Resultados dos testes de umidade do solo pelo sensor SU_1 (Em unidades arbitrarias). (Período 1).....	41
Tabela 9 - Resultados dos testes do sensor SU_1 de umidade do solo (Em unidades arbitrarias). (Período 2).....	42
Tabela 10 - Resultados dos testes do sensor SU_1 de umidade do solo (U. A.). (Período 3) ..	43
Tabela 11 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrarias). (Período 1).....	44
Tabela 12 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrarias). (Período 2).....	45
Tabela 13 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrarias). (Período 3).....	46
Tabela 14 - Sensores - ST_1, ST_2, SU_1 e SG_1	47

LISTA DE SIGLAS

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
FCM	Fator de Condução do Metano
FTDI	<i>Future Technology Devices International</i>
GEE	Gás de Efeito Estufa
H ₂	Hidrogénio
H ₂ S	Gás Sulfídrico
ICSP	<i>In-Circuit Serial Programming</i>
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LM35	Sensor de Temperatura
MQ4	Sensor de Gás Metano
N ₂	Nitrogénio
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxigênio
PCS	Poder Calorífico Superior
PSI	<i>Pound Force Per Square Inch</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RSU	Resíduo Sólido Urbano
RTC	<i>Real Time Clock</i>
SnO ₂	Dióxido de Estanho
SWQMS	<i>Smart Water Quality Monitoriny System</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação e problemática	16
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Relevância deste trabalho	18
1.4	Organização da Dissertação	18
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Revisão da Literatura	19
2.1.1	O Gás Metano.....	19
2.1.2	Emissão Global de Gás Metano	21
2.1.3	Emissão Metano em Aterros Sanitários	23
2.1.4	Influência da Umidade do Solo da Temperatura na Produção de Gás Metano	23
2.2	Sensores	24
2.2.1	Precisão	25
2.2.2	Faixa de alcance dos Sensores (<i>Range</i>).....	25
2.3.3	Exatidão.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Materiais	26
3.1.1	Arduino	26
3.1.1.2	A IDE do Arduino	28
3.1.1.3	O Sensor de medição da concentração do biogás (SG_1).....	30
3.1.1.4	O Sensor de Temperatura. (ST_1 e ST_2)	31
3.1.1.5	Sensor de Umidade do Solo Higrômetro – Marca/ModeloHW-080 (SU_1)	32
3.1.1.6	Relógio de Tempo Real (Real Time Clock)	33
3.1.1.7	Um módulo cartão SD.....	34
3.2	METODOLOGIA.....	35
3.3	Estimativa de custos de material:	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	38
4.1	Resultados	38
4.1.1	Medições de temperatura	38
4.1.2	Medições de Umidade do solo	41

4.1.3 Concentração de gás.....	44
4.2 Resultados	47
4.3 Discussão dos resultados.....	49
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	50
5.1 Ensaios Experimentais do Sistema Microprocessado para Medição de Grandezas Físicas em Aterro Sanitário para Produção de Biogás.....	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é uma técnica de distribuição final de resíduos sólidos no solo que utiliza as normas de engenharia. Aterros sanitários são projetos que exigem licença ambiental de instalação, realizado por meio do desenvolvimento de um estudo de impacto ambiental, que só poderá ser implementado após o órgão público licenciador verificar sua viabilidade ambiental.

Normalmente o cômputo das emissões de gases pela superfície em aterro sanitário é muito complexa, não havendo um método vastamente aceito (Lucernoni et al., 2016; Lando; Nakayama; Shimaoka, 2017; Gonzalez-Valencia et al., 2016).

A coleta do biogás é uma etapa indispensável na operação moderna e no cultivo de um aterro sanitário. Além disso, o alto valor calorífico do biogás de aterros sanitários o torna um combustível viável para motores a gás, que podem ser usados com eficácia para a geração de energia elétrica.

Os aterros sanitários são uma obra de engenharia que requerem atenção especial para minimizar o impacto ambiental. A implantação começa com a impermeabilização do solo, conseguida com a compactação de camadas de argila e aplicação de geomembranas (produtos poliméricos sintéticos de baixíssima permeabilidade) e instalação de sistemas de drenagem de águas pluviais, lixiviados e gases (Candiani; Moreira, 2015).

Os aterros sanitários são considerados fontes importantes de emissão de gases de efeito estufa, principalmente em relação ao gás metano, que é também um valioso recurso energético, daí a importância em se determinar seu fluxo superficial no aterro sanitário (Park; Kang; Lee, 2016).

A produção de biogás ao longo do tempo nos aterros sanitários é estimada por meio de modelos matemáticos. A maioria dos modelos considera, para os cálculos dados, em sua maioria, empíricos, a quantidade de resíduos orgânicos, a condição operacional e de gerenciamento do aterro, a fração de metano do biogás e, principalmente, a eficiência de captação de biogás do projeto. O fato de a maioria das modelagens não considerarem dados reais, como a composição gravimétrica adequada, os aspectos climáticos e o tipo de cobertura final do aterro, por exemplo, tem resultado em grandes distorções entre os valores reais encontrados e os mensurados nos projetos de MDL (Ensinas, 2003; Boscov, 2008; Machado *et al.*, 2009; Silva, 2010; Maciel & Jucá, 2011).

Um dos dados de entrada que mais afeta o cálculo final destas modelagens é a

eficiência de captação do biogás. O que se usa atualmente é um valor padrão fixo que varia entre 60 a 80% de eficiência. Para uma correta estimativa deste valor faz-se necessário o estudo contínuo das emissões superficiais do biogás (metano + CO₂) no aterro sanitário, pois essa questão depende muito das particularidades de concepção dos projetos (Spokas *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2009; Kwon; Cho; Kim, 2009, Candiani, 2011).

De forma geral, as curvas da produção de biogás nos aterros sanitários brasileiros apresentam uma tendência elevada na produção, enquanto o aterro está em operação, ou seja, recebendo os resíduos sólidos urbanos com altas frações orgânicas (50%). Porém, como os resíduos orgânicos presentes em maior quantidade apresentam taxas de biodegradação rápida, as maiores produções de biogás tendem a ocorrer, principalmente, nos anos iniciais de vida destes aterros. Após o encerramento de suas operações, ou seja, quando não há entrada mais de resíduo, as taxas da produção de biogás se reduzem rapidamente (Silva & Campos, 2008; Silva, 2010; Candiani, 2011).

1.1 Motivação e problemática

Os aterros sanitários são utilizados para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, utilizando métodos e técnicas seguras para a saúde da população, fato esse que não ocorre em lixões a céu aberto (Rufino, 2018). O descarte final regular de resíduos reduz a emissão de gases de efeito estufa, poluição dos solos e das águas.

Os números referentes à geração de resíduo sólido urbano (RSU) revelam um total anual de 78,4 milhões de toneladas no país, sendo 91,2% coletados e, deste, cerca de 42,3 milhões são dispostos em aterros sanitários, o que equivale a 59,1% do coletado (Abrelpe, 2017).

O potencial de produção de energia utilizando o gás metano presente no biogás proveniente da decomposição em aterro sanitário depende da quantidade e tempo de material depositado no local. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro e os fatores que podem influenciar na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação.

Mendes (2005) mostra que existem quatro fases de produção do biogás, sendo elas a fase de decomposição aeróbica, a fase anóxica, fase metanogênica e fase de decomposição anaeróbica, que ocorrem durante a vida de um aterro. Porém, só na quarta fase o gás metano é

gerado na faixa entre 40 e 70% do volume total, que ocorre até 2 anos após a deposição do resíduo no aterro.

O fator de correção do metano (FCM) varia de acordo com a qualidade de compactação dos resíduos, pois considera que a maneira como os resíduos são depositados influencia na geração de metano do aterro sanitário (Necker, 2013). Para aterros sanitários o valor de FCM é de 1, pois é um local adequado com deposição controlada dos resíduos.

A utilização do biogás é atrativa para a geração de energia alternativa, porém necessita de grande controle sobre variáveis presentes, por exemplo, a quantidade de matéria orgânica e idade do aterro, além do alto custo de implementação.

Uma parte do gás gerado no aterro sanitário atravessa o sistema de cobertura dos resíduos (camada de solo) e escapa para a atmosfera, mesmo quando o aterro sanitário apresenta um sistema de captação de biogás. Estes não são capazes de captar com muita eficiência (40 a 60%), e parcelas significativas de metano são emitidas ao meio ambiente (Swana, 1998; Spokas, et al., 2006; Babilotte, et al., 2010; Maciel & Jucá, 2011).

As variações nos valores das emissões de metano ocorrem devido a alguns aspectos relacionados à camada de cobertura (característica do solo, espessura, grau de compactação, etc.) no aterro, além da idade do resíduo, das características geotécnicas e dos aspectos climáticos (Mariano & Jucá, 2010).

Nesse contexto, a determinação de gás metano em aterro sanitário com maior exatidão contribui para monitorar a eficiência dos sistemas de captação de biogás, proporcionando maior disponibilidade de metano à comercialização dos créditos de carbono e geração de energia elétrica, a partir da combustão do metano em motores (Maciel & Jucá, 2011).

Assim, observa-se a importância da produção de gás metano e encontrar meios de medições mais eficientes desse gás é fundamental. Verificou-se que em alguns aterros as medições são realizadas justamente por não possuir meios eficientes de medição, o trabalho proposto apresenta uma série de sensores que podem ajudar na medição e cálculo final da produção de gás metano em aterro sanitário, o protótipo utiliza sensores de temperatura, umidade do solo, sensor de gás metano além de outros componentes que auxiliam na identificação dos valores dos sensores.

Todo este contexto indica que a produção média diária de gás metano em um aterro sanitário é imprecisa, pois depende da precipitação de chuva, regime de temperatura diário, insolação, o que se torna problemático para estimativas de entrega na comercialização.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema microprocessado para medição das grandezas físicas: umidade do solo, temperatura interna do poço (Sensor 1), temperatura externa do poço (Sensor 2) e a concentração do biogás no aterro sanitário.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Projetar, desenvolver, testar e aplicar um sistema microprocessado para leitura e coleta de dados da temperatura, concentração de biogás, e umidade do solo, relativos a um ambiente em aterro sanitario.

1.3 Relevância deste trabalho

Espera-se que este trabalho contribua para melhorar a coleta de dados da produção do biogás de um aterro sanitário, fornecendo importantes dados para a gestão administrativa do mesmo.

1.4 Organização da Dissertação

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, contemplando a contextualização do estudo, os objetivos propostos, a motivação da temática escolhida com a pesquisa e a apresentação da sua estrutura. O segundo capítulo refere-se ao referencial teórico o qual é apresentado o estudo dos trabalhos presentes na literatura que abordam o tema proposto, com a finalidade de consolidar o embasamento teórico do assunto. O terceiro capítulo é dedicado aos materiais e métodos do sistema proposto, onde está descrita a estrutura do projeto, os componentes, as etapas constituintes do protótipo e os ensaios experimentais do sistema microprocessado para medição das grandezas físicas em um aterro sanitário para produção de biogás. No quarto capítulo é apresentada a análise dos resultados obtidos nos testes do protótipo, e, por último, são apresentadas as conclusões do presente estudo, em que é realizada uma avaliação dos resultados coletados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

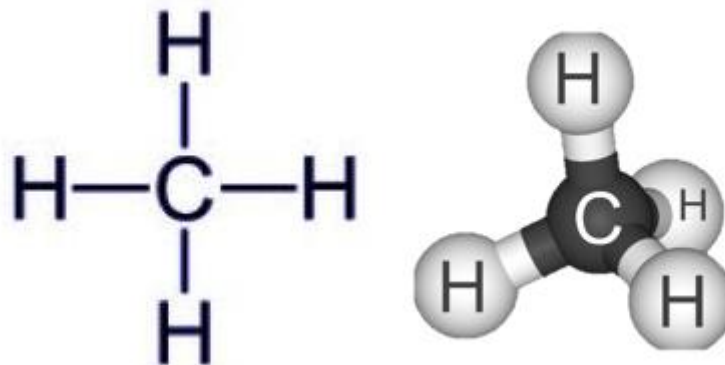
2.1 Revisão da Literatura

Este Capítulo é elaborado com o intuito de discutir os aspectos teóricos envolvidos neste trabalho, complementados pela revisão bibliográfica realizada, de forma e permitir uma melhor compreensão dos conceitos relacionados no desenvolvimento do trabalho. O biogás é formado a partir da decomposição de matéria orgânica. Ele é formado principalmente de uma mistura de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). A composição do biogás depende de fatores como temperatura, PH, e tipo do material de um aterro sanitário (Karlsson, 2014, p.69)

2.1.1 O Gás Metano

O metano é um gás da primeira série dos alcanos ou das parafinas, que são compostos orgânicos de composição simples, mas que podem ser representados por moléculas grandes que surgem da fermentação anaeróbica.(ambiente com ausência de oxigênio). Nos esterco de animais, nos lixões, nos aterros sanitários, nas jazidas de petróleo, de xisto betuminoso, entre outros, pode ser encontrado o metano. É um gás incolor com uma estrutura molecular tetraédrica, de pouca solubilidade na água e, quando em contato com o ar se torna inflamável.

Figura 1 - Fórmula estrutural do metano



Fonte: Costa (2011).

A agricultura e a pecuária contribuem nas emissões antropogênicas de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O) na atmosfera. Dentro da gama de gases que lhes atribuem um efeito nocivo está o CO_2 , o mais abundante.

Indiretamente, as atividades humanas, de um modo geral incrementam também a produção do biogás (metano + CO_2). Após o depósito nos aterros sanitários, os resíduos sólidos

urbanos, comumente conhecidos como “lixo”, possuem significativa parcela de matéria orgânica biodegradável que se transforma em substâncias gasosas, entre outras. É o processo de digestão anaeróbia dos que ocorre pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como biogás. Esta fonte energética encontrada nos aterros sanitários é composta basicamente pelos seguintes gases: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S) (Costa, 2011).

No Brasil, a julgar pelas características dos resíduos sólidos, o biogás gerado na grande maioria dos aterros sanitários das metrópoles, apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de dióxido de carbono, acima de 30% (Boletim do Ministério das Cidades, 2008).

Sendo nocivo à saúde humana e animal, o biogás gerado nos aterros sanitários deve ser drenado e queimado para minorar os efeitos causados quando lançado na atmosfera, notadamente, no que se refere a potencialização do efeito estufa.

Segundo Costa (2006), o potencial energético do biogás varia em função da presença de metano em sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. Quando originário de aterros sanitários, a proporção de metano é, em média, de 50%, quando é gerada em reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é mais elevada, atingindo até cerca de 70%. No entanto, comparado com o gás natural (até 95% de metano), apresenta menor poder calorífico, em consequência do menor conteúdo de metano (Zilotti, 2012).

O metano (CH_4) é um gás com potencial de efeito estufa é cerca de vinte e uma (21) vezes maior que o efeito do dióxido de carbono, contribuindo, substancialmente, para o agravamento do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global. O metano produzido no processo de digestão anaeróbica pode causar grande impacto ambiental se for liberado diretamente na atmosfera. Por isso, há a necessidade da sua queima, convertendo o CH_4 para CO_2 , a fim de diminuir o impacto causado ao meio ambiente. Trata-se de um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha (Oliveira; Higarashi, 2006).

Projetos de intenção de reaproveitamento do metano dos aterros e lixões existem, no entanto, o processo exige investimentos vultosos, bem como demanda contínua nas proximidades destes aterros. As termelétricas a gás natural deverão injetar no sistema de distribuição uma grande quantidade de energia nos próximos anos. Portanto, para que o país siga o caminho de uma trajetória de crescimento sustentável, é muito importante que sejam

valorizadas as fontes de energia renováveis e menos poluidoras, tais como o gás metano de aterros sanitários, cogeração a gás e biomassa, energia eólica e solar (Costa, 2011, p.19).

O metano é o único hidrocarboneto menos denso que o ar, sendo a sua densidade de 0,679 kg/m³, fato que confere para maior segurança em relação a outros hidrocarbonetos durante o seu manuseio. No entanto, como o gás natural é inodoro, incolor, inflamável e asfixiante, deve-se ficar atento a vazamentos. Antes de chegar ao consumidor final, o gás passa por processo de odorização, onde são adicionados compostos contendo enxofre em quantidade suficiente para conferir odor marcante ao gás, facilitando a identificação de vazamentos. O metano, componente de maior concentração no gás natural, possui ponto de vaporização de -162 °C e um poder calorífico superior (PCS) de 40 MJ/Nm³, representando o menor valor entre os hidrocarbonetos gasosos e líquidos (Gas Engineers Handbook, 1934).

2.1.2 Emissão Global de Gás Metano

O gás metano (CH₄) é um importante gás do efeito estufa de origem antrópica, mas as fontes individuais de CH₄ não são bem quantificadas, havendo uma diferença de 6 vezes entre as maiores e menores estimativas, pois são na maioria biogênicas (térmitas, pântanos, tundras e águas doces e salgadas) (Campos, 2007). Com relação às emissões antropogênicas destacam-se a agricultura de arroz, a criação de ruminantes, vazamentos de gás natural, resíduos, mineração de carvão e queima de biomassa (Barh et al., 2006).

O metano tem sido responsável por cerca de 30% do aquecimento global desde a época pré-industrial e está proliferando mais rapidamente do que em qualquer outra época desde que a manutenção de registros começou nos anos 80. De acordo com dados da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos, mesmo quando as emissões de dióxido de carbono desaceleraram durante os bloqueios relacionados à pandemia de 2020, o metano atmosférico aumentou.

O metano é o segundo gás de efeito estufa (GEE) mais abundante gerado pelo homem, 86 vezes mais poderoso do que o dióxido de carbono em 20 anos na atmosfera (e 34 vezes mais poderoso em 100 anos) (Monaco et al., 2021). Na Figura 2, a seguir, é apresentado o total de emissões globais de metano em 2018.

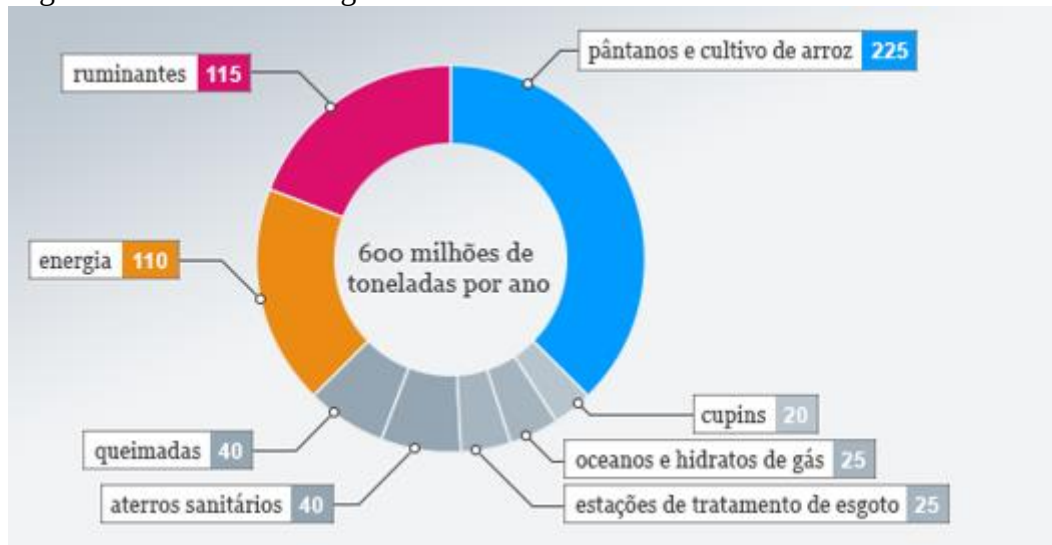
Figura 2 - Total de emissão global do metano em 2018



Fonte: Climate Watch Historical GHG Emissions, 2018.

Na Figura 3, a seguir, são apresentados os dados de emissão anual global de metano referente ao ano de 2020, em que podemos verificar que a maior parte das emissões de metano geradas pelo homem provém de três setores – energia (35%), pantanos e cultivo de arroz (40%) e resíduos (20%); portanto, focar a ação nesses setores pode ajudar a evitar os impactos do aquecimento de imediato (Monaco et al., 2021).

Figura 3 - Emissão anual global de metano na atmosfera



Fonte: Instituto Max Planck de Física Nuclear, 2020.

As emissões de metano vêm de fontes naturais, como as zonas úmidas, mas mais da metade do total das emissões globais de metano vem de atividade humanas. Três setores- agricultura (40% das emissões causadas pelo homem), combustíveis fósseis (35%) e resíduos (20%) respondem pela maior parte das emissões de metano humano (EcoDebate, 2021).

2.1.3 Emissão Metano em Aterros Sanitários

O aterro sanitário pode ser conceituado como um reator bioquímico, sendo suas principais entradas os resíduos sólidos e água e suas saídas os biogases e os líquidos lixiviados. O biogás produzido em aterros sanitários é composto de 45 a 60% de metano, a porcentagem restante é composta de CO₂, vapor de água e alguns gases traço (Fernandes, 2009. p.45).

O aterro sanitário é uma das alternativas de tratamento para esses resíduos sólidos, os aterros possuem um solo impermeabilizado para que não haja a contaminação das áreas do entorno e também acontece a monitoria das emissões de gases, são utilizados métodos para armazenar os dejetos na menor área possível para se obter um menor volume, sendo assim cobertos frequentemente com camadas de terra (Ferreira, 2011, p.13).

2.1.4 Influência da Umidade do Solo da Temperatura na Produção de Gás Metano

De acordo com Singh (1994) existem basicamente duas faixas de temperatura que apresentam condições ótimas para a produção de biogás (metano). A primeira é a faixa mesofílica que está entre 20 – 40 °C e a temperatura ótima está entre 30 – 35 °C. E a segunda

faixa é a termofílica que fica entre 50 – 60 °C. O autor ainda cita que os sistemas mesofílicos são muito sensíveis à variação da temperatura ambiente, podendo parar a produção de biogás no período de inverno em climas mais frios (Tavares, 2016, p. 24)

A variação da temperatura no solo pode aumentar a atividade microbiana, aumentando desta forma a produção de metano (Escobar, 2008). Só que, parte dessa produção pode ser consumida por bactérias metanotróficas as quais obtêm energia e carbono da oxidação do CH₄, uma vez que, a influência da temperatura no solo explica 34% do efluxo desse gás para atmosfera (Furtado, 2019, p. 35).

A umidade no solo favorece o desenvolvimento de bactérias metanogênicas, que por sua vez produzem metano a partir da decomposição da matéria orgânica disponível no solo e na serrapilheira. Entretanto, o que se observa é uma relação negativa, ou seja, com o aumento da umidade no solo diminuiu a concentração de metano, porém, pode existir uma faixa ótima de saturação nesse solo variando entre 10 e 25% o qual pode beneficiar uma melhor atividade dos microrganismos anaeróbicos (Furtado, 2019, p.59).

Apesar da associação entre as variáveis ambientais (temperatura e umidade do solo) não serem altamente significativa apresenta o comportamento do fluxo de CH₄ no solo de acordo com o comportamento dessas variáveis ao longo do período amostral.

2.2 Sensores

O uso de sensores e instrumentos de medição é uma das bases para o avanço da tecnologia na indústria. No contexto da engenharia, a instrumentação eletrônica pode melhorar o desempenho dos processos. O uso de sensores permite um controle mais eficiente da produção, resultando no uso racional de energia e na melhoria da qualidade dos produtos.

O conhecimento dos princípios e técnicas de medição, conceitos relacionados a instrumentos de medição e procedimentos relacionados à instalação segura e correta de instrumentos é essencial para técnicos e engenheiros de projeto, operação e manutenção cujo objetivo é obter sistemas de controle com bom desempenho, confiabilidade e custos otimizados de instalação, operação e manutenção.

2.2.1 Precisão

A precisão está relacionada com a repetibilidade da medição realizada por um sensor. Este sensor deverá indicar o mesmo valor na ocorrência de um número elevado de medições. Em geral, os instrumentos de medição são especificados por alguns parâmetros incluindo a sua precisão. (Braga; Braga, 2005, p.5).

2.2.2 Faixa de alcance dos Sensores (*Range*)

É a diferença entre os limites máximo e mínimo em que as grandezas medidas, recebidas ou transmitidas podem variar. Cada instrumento trabalha em um certo intervalo válido de medição. Por exemplo, se um processo pode variar em pressão de 200 a 300 psi (libras por polegada quadrada, libras por polegada quadrada), a faixa é cerca de 100psi. (Braga; Braga, 2005, p.5).

2.3.3 Exatidão

A exatidão indica o quão próximo o sensor é capaz de indicar o valor real da grandeza medida. A exatidão exprime a conformidade da medição ao valor real da grandeza. Outras características de um sensor são a não-linearidade, a histerese e o erro máximo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Neste trabalho o protótipo é composto por:

- a) Um microprocessador *Arduino*.
- b) Relógio de tempo real (RTC)
- c) Um módulo cartão SD,
- d) Dois (02) sensores de temperatura Marca Texas modelo LM-35.
- e) Um sensor de biogás modelo MQ-4.
- f) Um sensor de umidade de solo. Higrômetro – Marca/Modelo HW-080

3.1.1 Arduino

O *Arduino* é definido como sendo um kit de desenvolvimento de microcontrolador, de baixo custo, amplamente utilizado no meio acadêmico, bastante difundido entre os *hobbistas*, muito utilizado, em especial, pela comunidade *open source* – programa de código aberto. (Barboza e Schwarz, 2013).

Ivano (2009, p. 12) conceitua o *Arduino* como sendo uma placa física em código aberto baseada em um circuito de entradas/saídas simples. Ele ressalta que o *Arduino* pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos e pode controlar uma variedade de dispositivos, entre eles luzes, motores, displays entre outras.

O *Arduino* se diferencia pela sua facilidade, pois ele é desenvolvido com objetivo de ser utilizado em projetos acadêmicos e assim distingue-se das demais plataformas por simplificar o processo de se trabalhar com microcontrolador além de uma gama de vantagens em relação às demais placas existentes no mercado (Ayala e Yupa, 2013).

McRoberts (2011, p.69) destaca que a maior vantagem do *Arduino* sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização; pessoas que não são da área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto.

Uma grande vantagem do *Arduino* é a sua flexibilidade de utilização, que pode variar de protótipos simples a projetos de nível profissional (Silva, 2012, p.67).

Segundo Naiff *et al.* (2011) outra vantagem dessa plataforma é a facilidade de interface com outros dispositivos, ou seja, ele serve como intermédio para a leitura de sensores como temperatura, luz, pressão entre outros tipos de sensores.

A placa deste componente é programada utilizando a linguagem de programação e o ambiente de desenvolvimento *Arduino*, onde um projeto pode ser executado independentemente da placa ou se comunicar com um programa sendo executado em um computador. Ressalta-se ainda, que as placas *Arduino* podem ser construídas ou compradas prontas (Bortholotto e Borges, 2009, p.2).

O modelo de *Arduino* utilizado para confecção desse protótipo foi o UNO, a qual está descrita com mais detalhes a seguir.

A placa *Arduino* UNO (Figura 4) é a última versão das placas *Arduino*. Lançada no final de 2010 possui um microcontrolador ATMEGA328 e a novidade está no conversor RS232 – USB que conta com um ATMEGA8 substituindo o FTDI¹ (*Future Technology Devices International*).

Com isto o arquivo de carregamento do sistema diminuiu de tamanho, o que economizou na memória *flash* do ATMEGA328 e acelerou o processo (Abreu, 2012, p.67).

Figura 4 - *Arduino* UNO



Fonte: site Arduino, 2014.

O *Arduino Uno* é um microcontrolador baseado no ATmega328; tem 14 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um ressoador cerâmico de 16MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP (*In-Circuit Serial Programming*), e um botão de reset (Arduino, 2014).

Os dados do Arduino estão colocados na tabela x

Tabela 1 - Informações sobre o *Arduino*

Datasheet <i>Arduino</i>	
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de Operação	5v
Tensão de entrada (recomendada)	7-12v
Pinos de entrada/saída	14 (dos quais 6 podem ser PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por pino I/O	40mA;
Corrente DC para pino 3,3v	50mA
Memória Flash	32KB (dos quais 0,5KB são usados pelo Bootloader)
SRAM 2KB	EEPROM: 1KB
Velocidade do Clock	16MHz;
Dimensões	5,3cm x 7,3cm x 1,2cm;

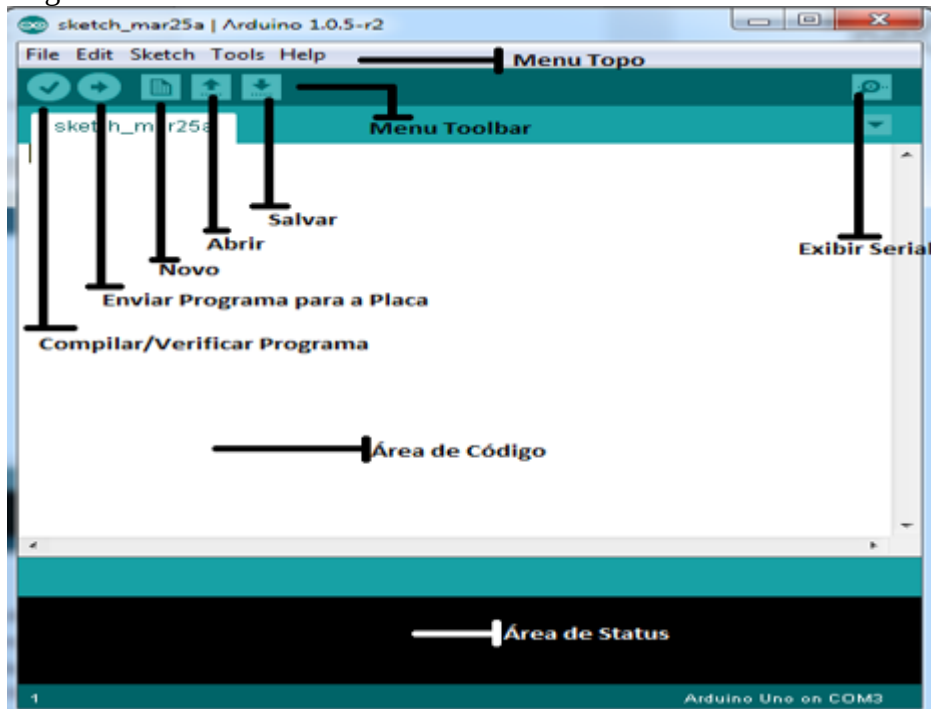
Fonte: Casa da Robótica, 2023

3.1.1.2 A IDE do Arduino

A IDE (*Integrated Development Enviroment*) do *Arduino* Figura 10 é um *software* livre, de código fonte gratuita, o que significa que os códigos, esquemas e projetos podem ser utilizados por qualquer pessoa. Ela é responsável por receber as linhas de códigos baseados na linguagem C, compilar e fazer o *upload* para que o *Arduino* possa interpretar os comandos, interagindo com o que estiver conectado a ela. As linhas de código da IDE do *Arduino* são conhecidas como *sketches* (Rodrigues, 2011 p.32).

O *Arduino IDE* é um programa multitarefa desenvolvido em JAVA, utilizado para criar, salvar, editar e compilar os programas e carregá-los na placa *Arduino*, além de apresentar ao usuário um monitor serial simples (Abreu, 2012, p.56).

Figura 5 - IDE do *Arduino*



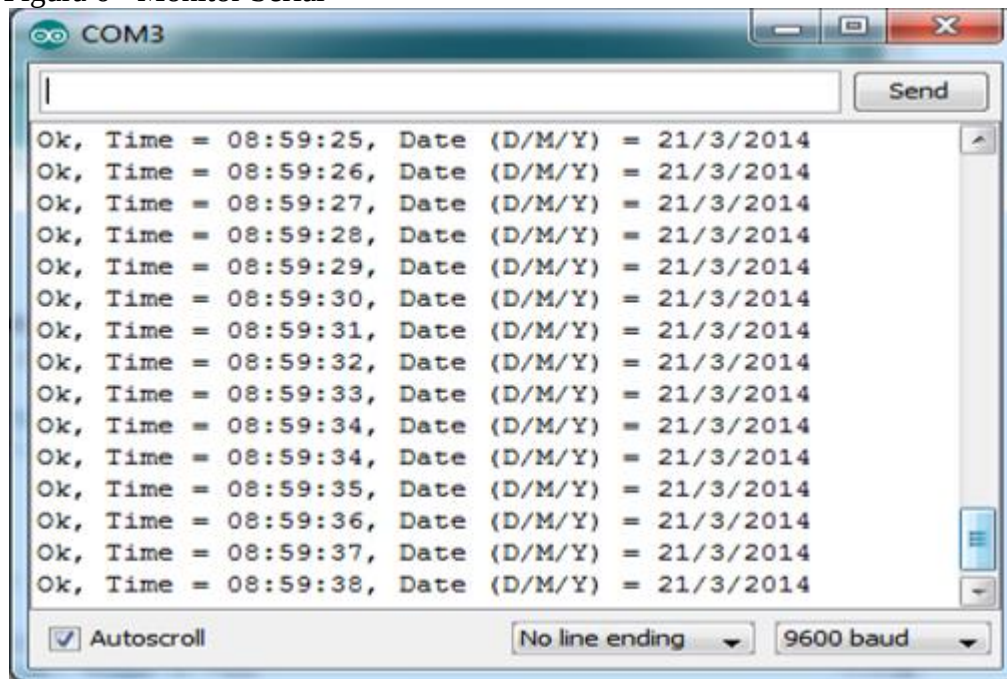
Fonte: elaborada pela autora.

O ambiente de desenvolvimento do *Arduino* possui vários exemplos de códigos-fonte, além de uma ferramenta que auxilia o programador a aprender a linguagem *Arduino* e dispõe de um menu de fácil entendimento como mostrado na Figura 5. Ressalta-se ainda que o programa possui uma interface simples e rápida, que inclui um editor de códigos-fonte com recursos de realce e identificação automática de determinados códigos digitados no programa.

O IDE (*Integrated Development Enviroment*) do *Arduino* é dividido em três partes: O *Toolbar* no topo, que consiste de sete botões sob ele há uma guia, ou um conjunto de guias, com o nome do arquivo do *sketch*, há ainda o código ou a *SketchWindow* no centro, e a janela de mensagens na base. Na parte superior há uma barra de menus, com os itens *File*, *Edit*, *Sketch*, *Tools* e *Help*. Sendo que nos ícones do menu *Toolbar* são fornecidos acesso conveniente às funções mais utilizadas dentro desses menus (Mcroberts, 2011, p.33).

O ambiente de desenvolvimento do *Arduino* é aquele onde o programa é elaborado e enviado a placa *Arduino*. Ele dispõe de um monitor serial (Figura 5) uma ferramenta útil para depuração de código e exibição dos resultados recebidos da placa. Podem-se também enviar dados de volta ao *Arduino* utilizando o monitor serial.

Figura 6 - Monitor Serial



Fonte: Elaborada pela autora.

O *Arduíno* UNO (Figura 6), é uma plataforma *open-source* de computação utilizada para prototipação de circuitos eletrônicos que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software* (Mcroberts, 2010). É composto por uma placa com o microcontrolador ATmega328PU que utiliza arquitetura *Harvard* de 8 bits, é *RISC - Reduced Intruction Set Computer*, e possui 32KB de memória *flash*, 1KB de memória EEPROM, 2KB memória SRAM, 32 registradores de uso geral, 3 temporizadores/contadores, 1 *USART*, 1 *SPI*, 1 *I2C*, 1 conversor

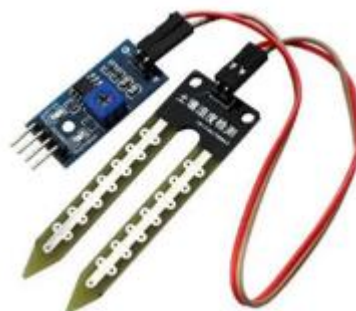
3.1.1.3 O Sensor de medição da concentração do biogás (SG_1).

O Sensor de concentração de biogás escolhido foi o modelo MQ-4, com facilidade de ser encontrado no mercado de componentes eletrônicos. A detecção do biogás se dá através do efeito sobre a condutividade do óxido metálico dióxido de estanho (SnO_2) presente no corpo do sensor. O MQ-4 detecta concentrações do biogás no ar, gerando uma saída analógica em tensão. Sua faixa de sensibilidade está entre 300ppm e 10.000ppm de concentração do gás e pode operar em temperaturas de -10 a 50°C e consome menos de 150 mA com tensão de polarização 5V. (Henan Hanwei Electronics,2022). A figura 7 mostra o sensor MQ-4.

3.1.1.5 Sensor de Umidade do Solo Higrômetro – Marca/Modelo HW-080 (SU_1)

Este sensor é utilizado para detectar os valores de umidade no solo. O sensor é conectado a entrada analógica do microprocessador. Este sensor é composto por duas sondas que indicam a concentração de água no solo, a partir da corrente elétrica, sendo está uma indicação da resistência do solo. Essa por sua vez é uma função da umidade do solo. O valor de saída do sensor varia de 0 a 1.023 (escala utilizada na placa eletrônica) representando a umidade do solo. Na configuração utilizada quanto maior o valor registrado na escala, menor será a quantidade de água no solo.

Figura 9 - Sensor de umidade do solo



O sensor de umidade do solo - Higrômetro tem a capacidade de detectar as variações de umidade presentes no solo com base na passagem de corrente por suas hastes. O sistema funciona através de um circuito presente na placa, esse circuito compara as variações de umidade do solo, podendo ser calibrado através de um potenciômetro. A relação da resistência com a umidade do solo é inversa, quanto menor a umidade do solo, maior é a resistência, e quanto maior for a umidade do solo, menor será a resistência. Este Sensor (Umidade do Solo – Higrômetro) trabalha com tensão de 3,3 V a 5 V e tem suas saídas digitais e analógicas, o que torna o uso prático e simplificado, mostrando o nível alto na saída quando o solo estiver seco, e nível baixo quando estiver -8úmido. A tabela 2 apresenta alguns dados do HW-80

Tabela 2 - Informações sobre o sensor de umidade do solo - Higrômetro - HW-080

Datasheet do sensor HW-080	
Tensão de alimentação	3,3 a 5,0 VDC
Sensibilidade	Ajuste via potenciômetro
Saída	Digital e analógica
Led indicador para tensão	Vermelho

Led indicador para saída digital	Verde
Dimensões sonda	60 x 20 x 5 mm
Dimensões do módulo	31,4 x 14 x 0,7 mm
Peso	10g

Fonte: Site Curto Circuito (2023)

3.1.1.6 Relógio de Tempo Real (Real Time Clock)

O Relógio de tempo real (*Real Time Clock*) RTC DS1307 possui um calendário completo e mais de 56 bytes de SRAM, sendo capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano.

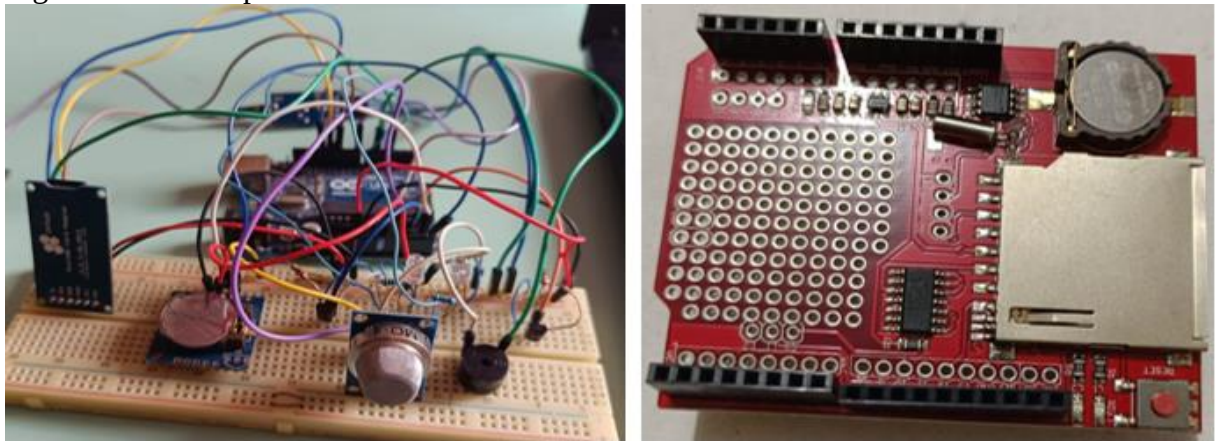
Figura 10 - Módulo RTC DS1307



Fonte: FelipeFlop, 2022.

Em sua placa há um circuito que detecta falhas de energia, acionando assim automaticamente a bateria para evitar perda de dados. Endereço e informações são transferidos via protocolo I2C. Correções como meses com menos de 31 dias e anos bissextos são criadas automaticamente. Este RTC opera tanto no formato 12 horas como 24 horas.

Figura 11 - Protótipo com módulo RTC - Shield RTC/SD



Fonte: elaborada pela autora.

3.1.1.7 Um módulo cartão SD

O módulo micro SD para armazenamento das informações no cartão de memória foi também testado separadamente sendo que foram coletados dados de minuto a minuto para um teste inicial. No módulo cartão Micro SD é possível fazer leitura e escrita diretamente em um cartão micro SD, como por exemplo gravar dados do *Arduino* no cartão. A tabela 3 mostra dados a respeito do cartão micro SD.

Tabela 3 - Informações sobre o micro SD

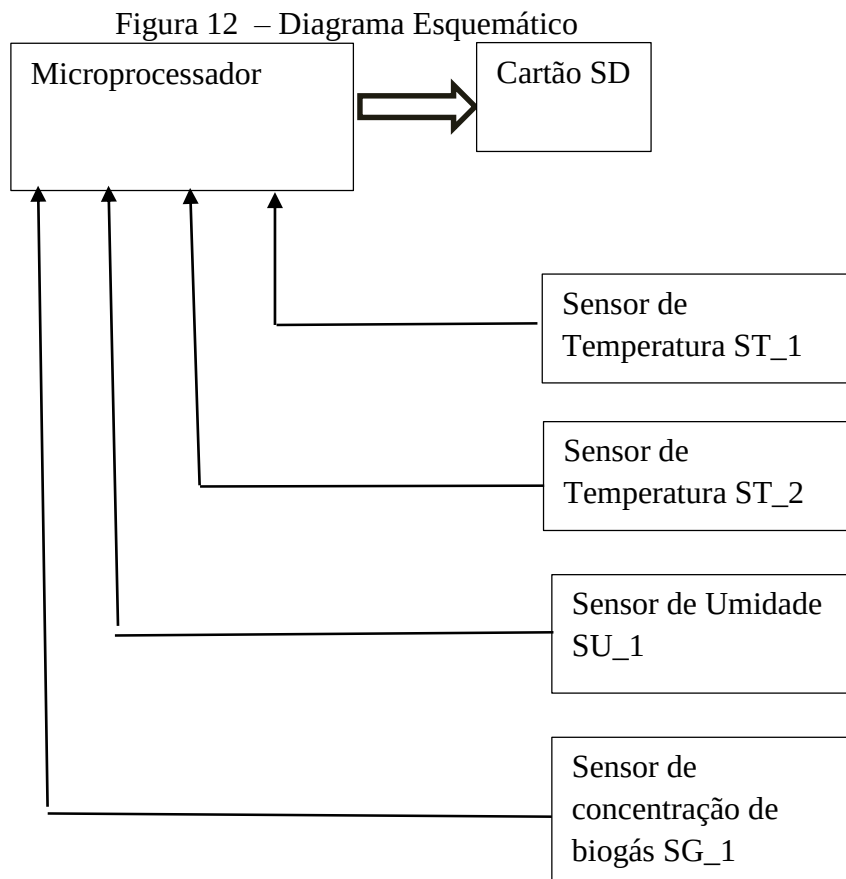
Datasheet do cartão micro SD	
Tensão de operação:	3,3V ou 5V
Tensão de alimentação:	5V
Interface SPI:	MOSI, SCK, MISO e CS.
Dimensões	41mm x 24mm

Fonte: MakerHero (2023)

A comunicação é feita pela interface SPI (nível de sinal igual a 3,3 V), contudo este leitor de cartão micro SD já vem adaptado permitindo uma ligação com placas que trabalham com 5 V, como o *Arduino*. Possui suporte para cartões Micro SD e Micro SDHC de alta velocidade.

3.2 METODOLOGIA

O processador gerencia a coleta dos dados provenientes dos sensores e armazena o conjunto de dados coletado no módulo cartão SD. Estes dados ficam a disposição para leitura e elaboração de uma planilha. Um diagrama esquemático está mostrado na figura 12.

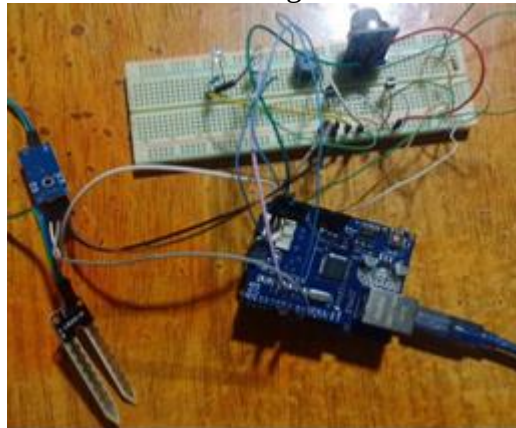


Fonte: elaborada pela autora.

Após a montagem do protótipo, foram realizadas coletas de dados de todos os sensores em intervalos pré-determinados (5 minutos). Estes dados foram armazenados em uma planilha Excel, utilização das grandezas medidas.

As partes do sistema foram montadas separadamente para ensaios individuais. Inicialmente, foi montado um circuito em protoboard e foram realizadas variações de cada um dos sensores: temperatura, umidade do solo e concentração do biogás, sendo as suas medidas observadas (Fig.12).

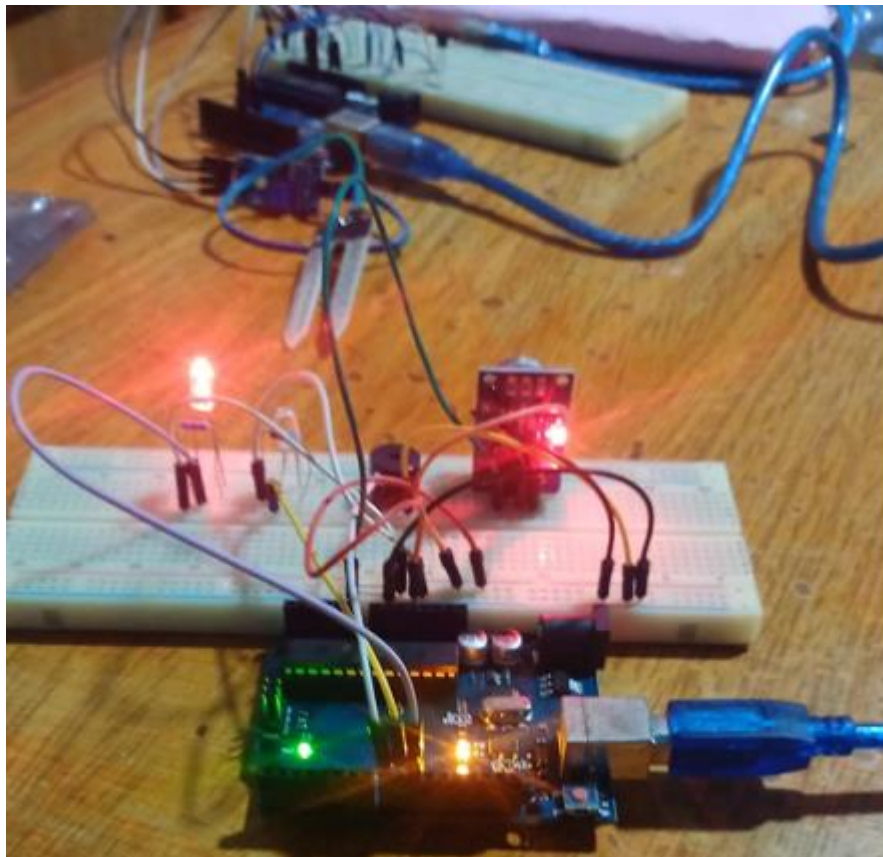
Figura 13 - Protótipo com sensor de temperatura, umidade do solo e sensor de concentração do biogás



Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 13 mostra uma montagem com o microprocessador Arduino e os sensores durante a realização de um ensaio.

Figura 14 - Protótipo – Arduino e todos os sensores (Temperatura, Umidade do Solo e Sensor de Gás MQ4)



Fonte: elaborada pela autora.

3.3 Estimativa de custos de material:

Para as montagens realizadas no projeto, foi realizado o levantamento dos custos dos componentes. (Tabela 4).

Tabela 4 - Estudo de custo de um conjunto sensor completo

Qt	Descrição	Nome e Referência	Preço (Reais)
1	Arduíno Uno	Arduíno	59,90
4	LM 35DZ	AutoCore	12,90
1	Módulo MQ-4	AutoCore	22,50
1	RTC DS1307	Maxim Integrated	12,90
40	Jumper	AutoCore	7,90
Total			116,10

Fonte: elaborada pela autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados no protótipo. Devido a não ter havido oportunidade de acesso a um aterro sanitário, o protótipo foi montado e os ensaios necessários foram realizados em ambiente aberto, de modo que os princípios de funcionamento e os conceitos da metodologia proposta, foram preservados. Ressaltamos que foram apresentados os valores numéricos dos resultados, em unidades arbitrárias (U.A.).

4.1 Resultados

Os resultados das medições do sensor de umidade SU_1 e de concentração de gás SG_1 são apresentados em unidades arbitrárias (U.A.) enquanto os resultados das medições de temperatura são apresentados em graus Celsius (°C).

4.1.1 Medições de temperatura

As medições de temperatura foram realizadas em 3 períodos, por questões práticas. Na Tabela 6 são apresentados os valores dos primeiros ensaios realizados para teste de obtenção das temperaturas dos sensores ST_1 e ST_2 no intervalo de 1 hora. Ressaltamos que estes resultados não se trata de dados de um poço real do aterro sanitário, contudo o ensaio indica o funcionamento adequado deste subsistema no protótipo.

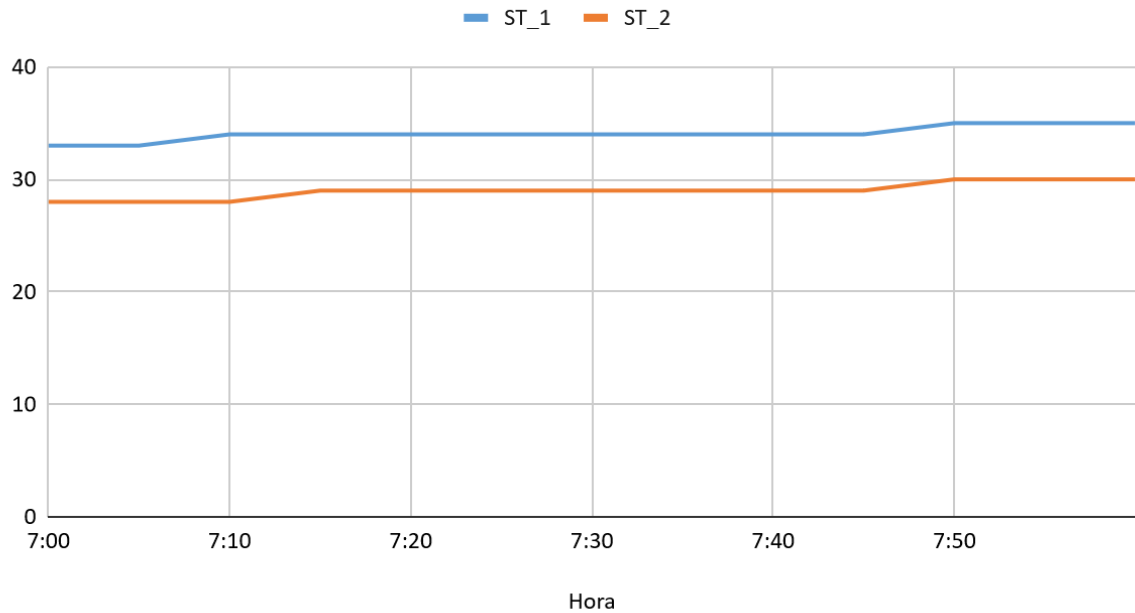
Tabela 5 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 1)

Hora	ST_1. (°C)	ST_2. (°C)
7h	33	28
7:05	33	28
7:10	34	28
7:15	34	29
7:20	34	29
7:25	34	29
7:30	34	29
7:35	34	29
7:40	34	29
7:45	34	29
7:50	35	30
7:55	35	30
8h	35	30

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 15 – Valores medidos de temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 1)

ST_1 e ST_2



Fonte: elaborada pela autora.

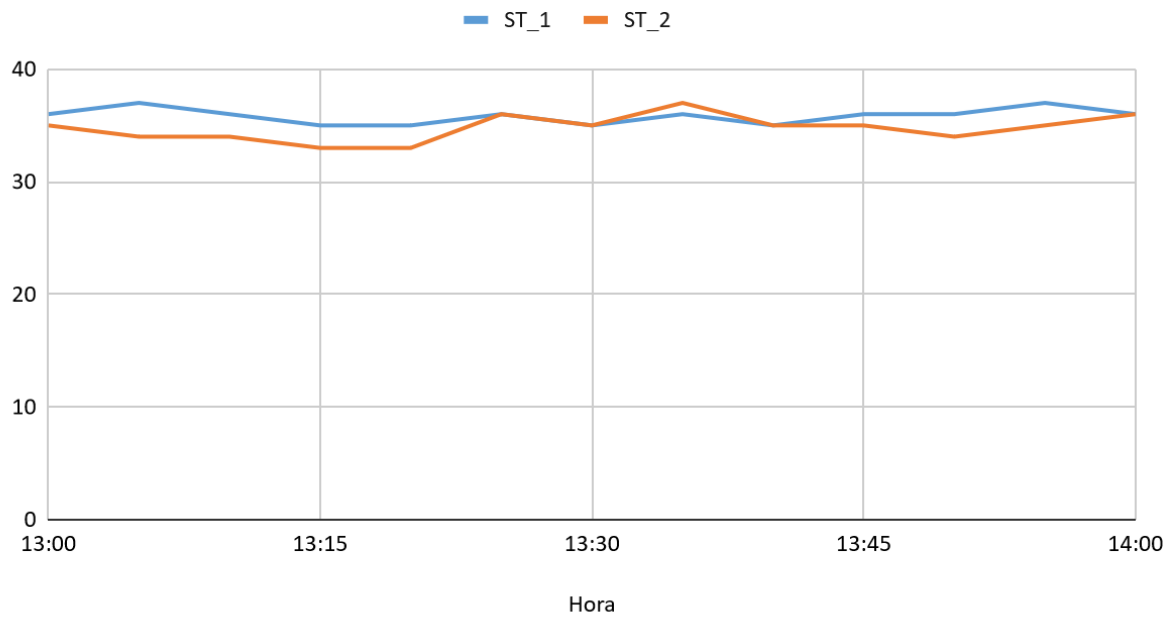
Tabela 6 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 2)

Hora	Temp. Externa (°C).	Temp. Interna (°C).
13h00	36	35
13h05	37	34
13h10	36	34
13h15	35	33
13h20	35	33
13h25	36	36
13h30	35	35
13h35	36	37
13h40	35	35
13h45	36	35
13h50	36	34
13h55	37	35
14h00	36	36

Fonte: elaborada pela autora

Figura 16- Valores medidos de temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 2)

ST_1 e ST_2



Fonte: elaborada pela autora

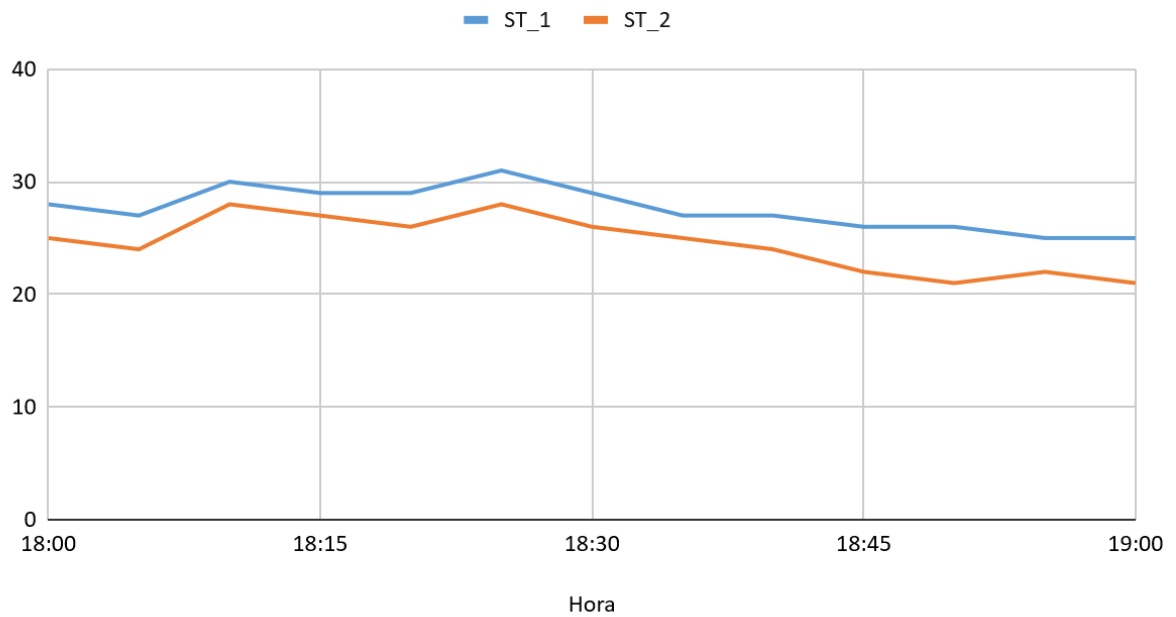
Tabela 7 - Resultados dos testes de temperatura dos sensores ST_1 e ST_2 (período 3)

Hora	Temp. Externa. (°C)	Temp. Interna. (°C)
18h00	28	25
18h05	27	24
18h10	30	28
18h15	29	27
18h20	29	26
18h25	31	28
18h30	29	26
18h35	27	25
18h40	27	24
18h45	26	22
18h50	26	21
18h55	25	22
19h00	25	21

Fonte: elaborada pela autora

Figura 17 - Valores medidos da temperatura nos sensores ST_1 e ST_2 (período 3)

ST_1 e ST_2



Fonte: elaborada pela autora

4.1.2 Medições de Umidade do solo

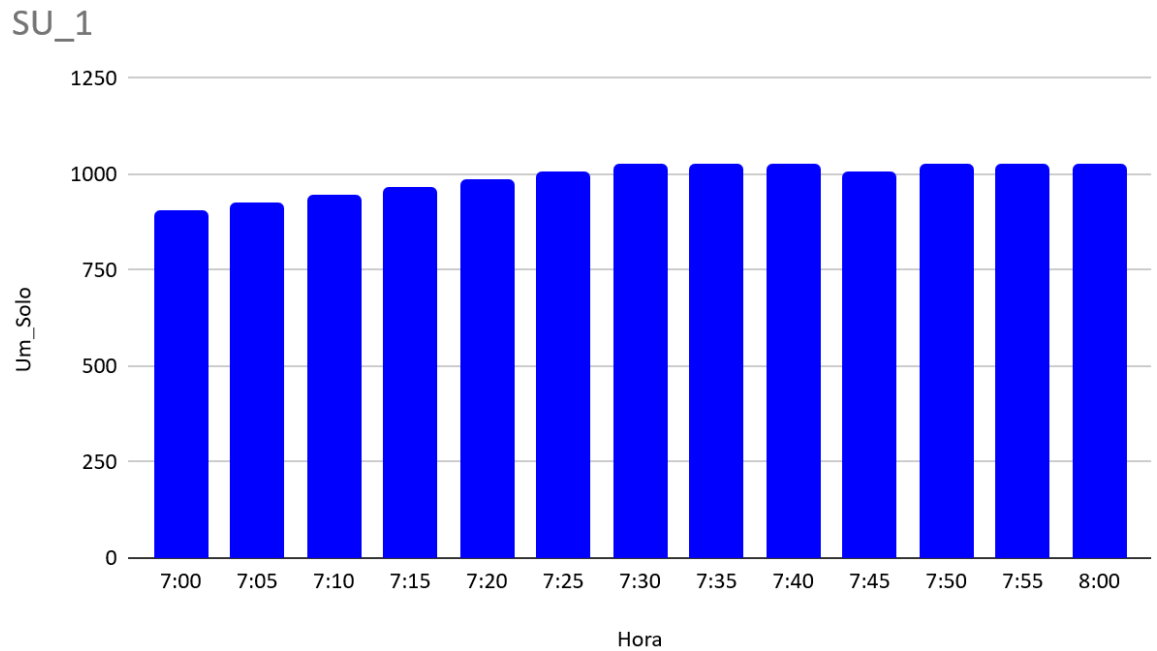
A tabela 09 mostra as medições realizadas pelo sensor de umidade do solo SU_1 .
No período de 1 hora.

Tabela 8 - Resultados dos testes de umidade do solo pelo sensor SU_1 (Em unidades arbitrárias). (Período 1)

Hora	SU_1 (U.A.)
7h00	900
7h05	920
7h10	940
7h15	960
7h20	980
7h25	1000
7h30	1020
7h35	1021
7h40	1024
7h45	1000
7h50	1020
7h55	1020
8h00	1020

Fonte: elaborada pela autora

Figura 18 - Valores medidos no sensor SU_1 da umidade do solo (U.A.) (Período 1)



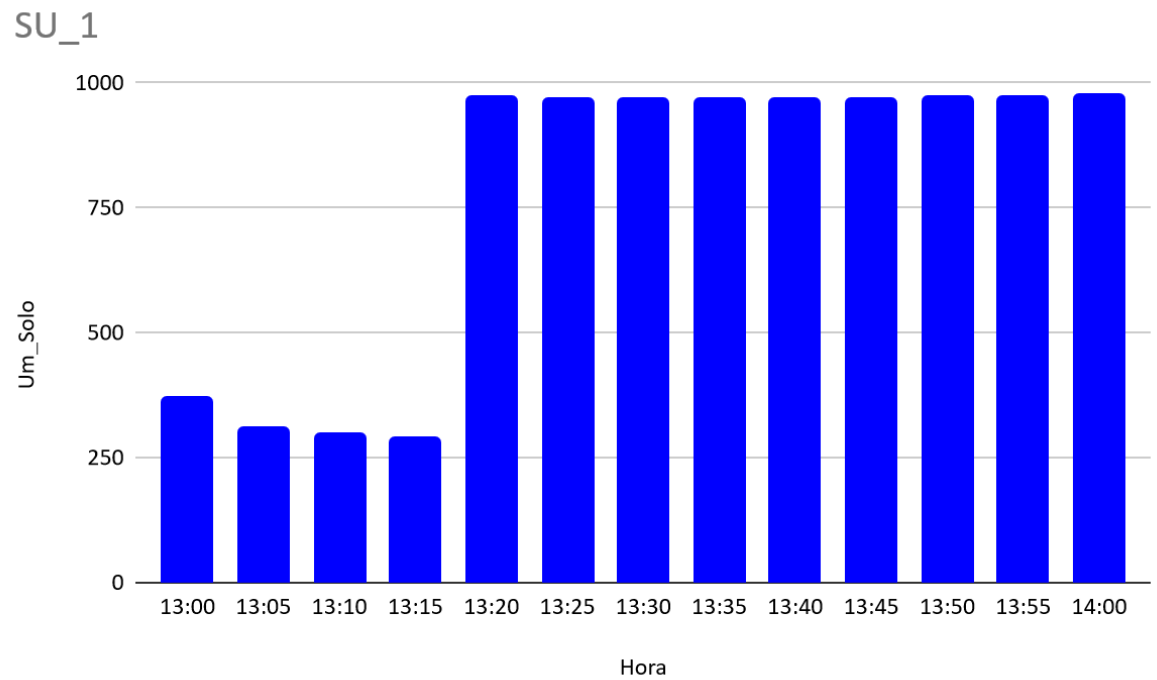
Fonte: elaborada pela autora

Tabela 9 - Resultados dos testes do sensor SU_1 de umidade do solo (Em unidades arbitrárias). (Período 2)

Hora	SU_1 (U.A.)
13h00	368
13h05	308
13h10	296
13h15	289
13h20	971
13h25	969
13h30	969
13h35	968
13h40	968
13h45	967
13h50	971
13h55	973
14h00	975

Fonte: elaborada pela autora

Figura 19- Valores medidos no sensor SU_1 da umidade do solo (U.A.) (Período 2)



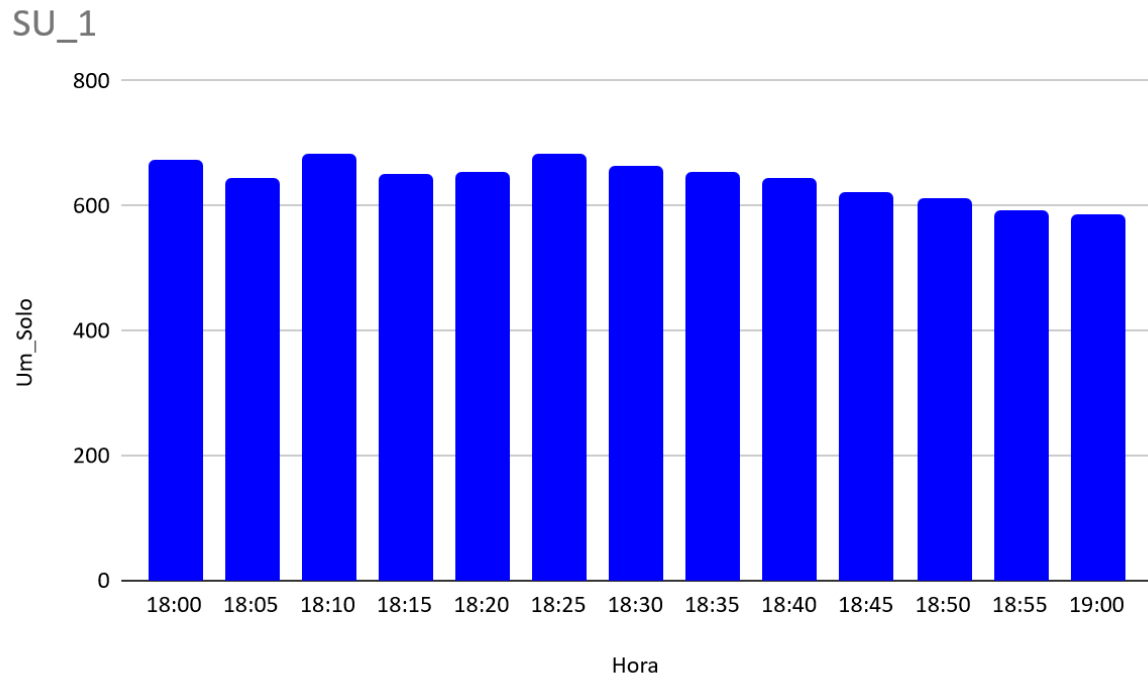
Fonte: elaborada pela autora

Tabela 10 - Resultados dos testes do sensor SU_1 de umidade do solo (U. A.). (Período 3)

Hora	SU_1 (U.A.)
18h00	670
18h05	640
18h10	680
18h15	648
18h20	652
18h25	680
18h30	660
18h35	650
18h40	640
18h45	620
18h50	610
18h55	590
19h00	582

Fonte: elaborada pela autora

Figura 20 - Valores medidos no sensor SU_1 da umidade do solo (U.A.) (Período 3)



Fonte: elaborada pela autora

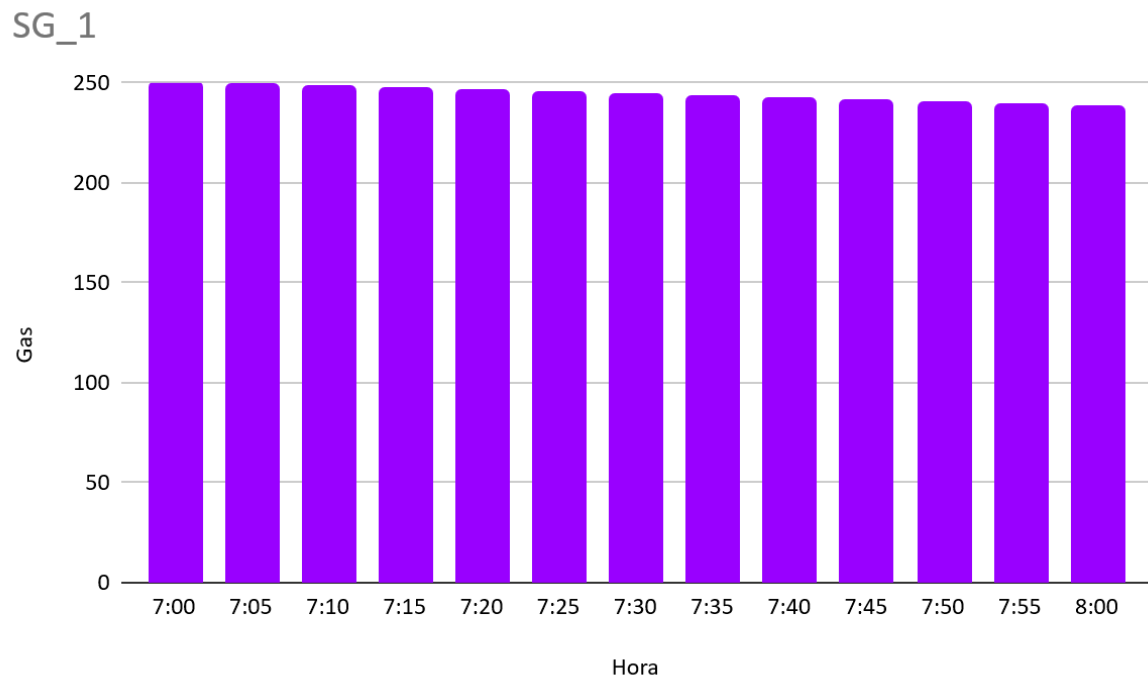
4.1.3 Concentração de gás

Tabela 11 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrárias). (Período 1)

Hora	SG_1 (U.A.)
7h00	250
7h05	249
7h10	248
7h15	247
7h20	246
7h25	245
7h30	244
7h35	243
7h40	242
7h45	241
7h50	240
7h55	239
8h00	238

Fonte: elaborada pela autora

Figura 21 – Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás.(Período 1)



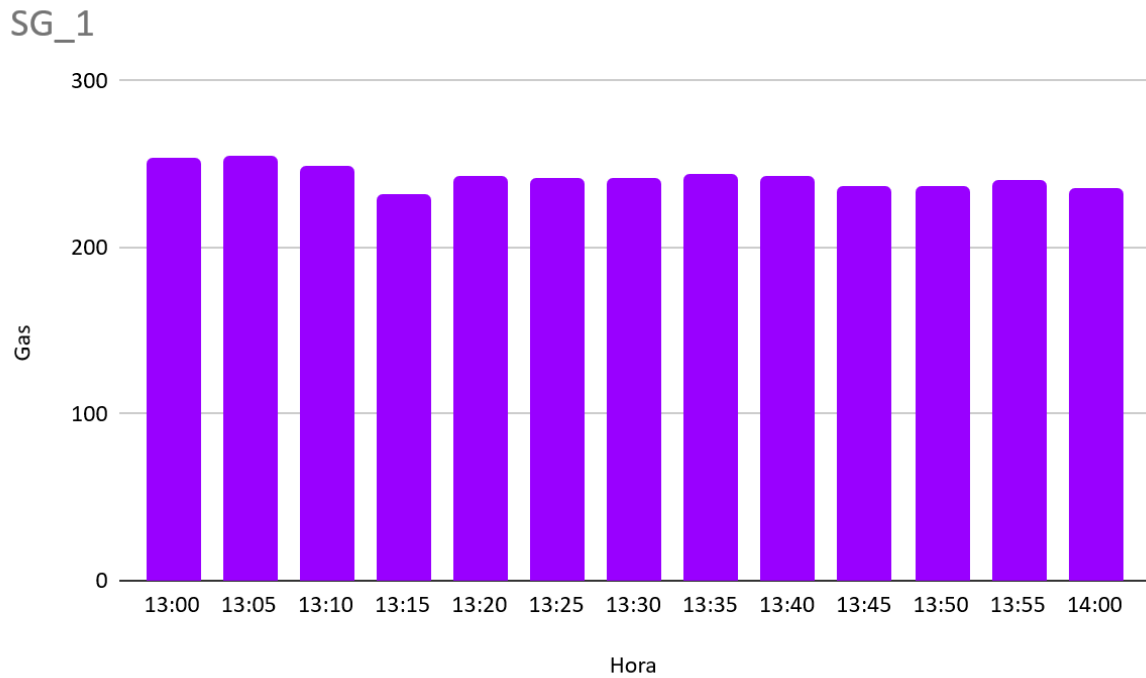
Fonte: elaborada pela autora

Tabela 12 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrárias). (Período 2)

Hora	SG_1 (U.A.)
13h00	253
13h05	254
13h10	248
13h15	231
13h20	242
13h25	241
13h30	240
13h35	243
13h40	242
13h45	236
13h50	236
13h55	239
14h00	234

Fonte: elaborada pela autora

Figura 22 - Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás.(Período 2)



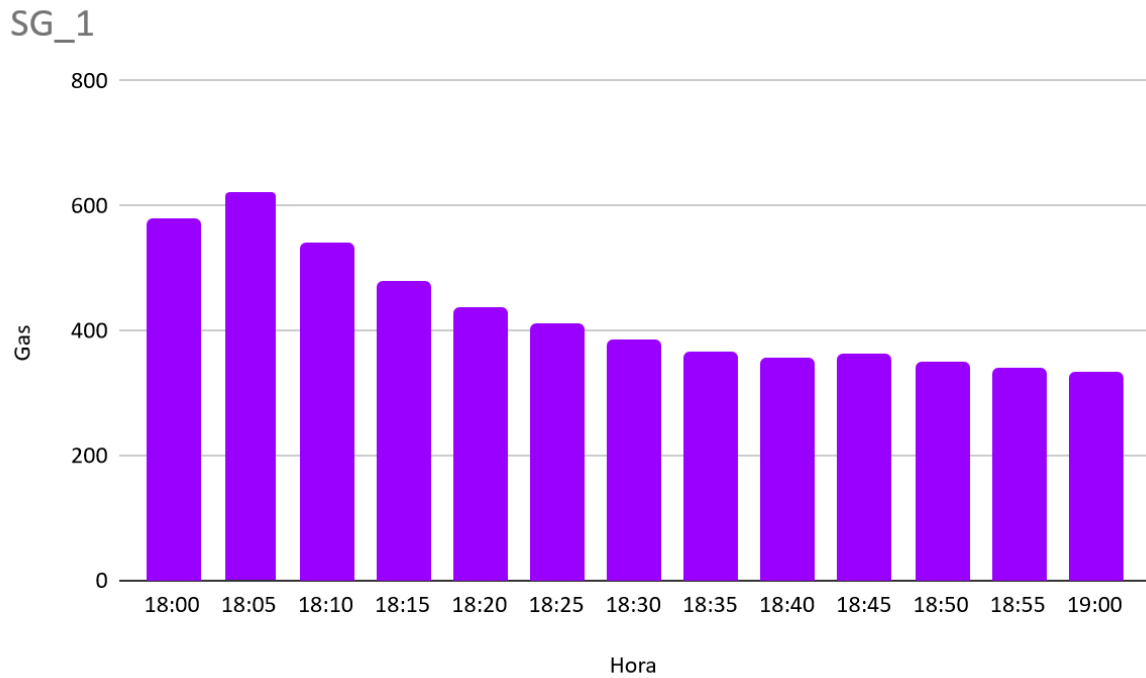
Fonte: elaborada pela autora

Tabela 13 - Resultados dos testes da concentração de biogás no sensor SG_1 (Em unidades arbitrárias). (Período 3)

Hora	SG_1 (U.A.)
18h00	577
18h05	623
18h10	539
18h15	476
18h20	434
18h25	409
18h30	382
18h35	365
18h40	354
18h45	359
18h50	347
18h55	339
19h00	331

Fonte: elaborada pela autora

Figura 23 - Valores medidos no sensor SG_1 de concentração do biogás. (Período 3)



Fonte: elaborada pela autora

4.2 Resultados

Observando os resultados obtidos, o protótipo foi novamente testado para obtenção de estatísticas. (Media e Desvio padrão). Portanto a partir dos valores obtidos na leitura do cartão SD é possível gerar uma estatística, no caso médias e desvio padrão. As mesmas podem ser obtidas a partir da planilha EXCEL.

Tabela 14 - Sensores - ST_1, ST_2, SU_1 e SG_1

Hora	ST_1	ST_2	SU_1	SG_1
10:45	40,08	41,06	912	527
10:50	40,08	41,06	913	467
10:55	40,57	40,03	910	423
11:00	36,66	38,12	958	427
11:05	39,59	41,06	912	380
11:10	39,1	41,06	911	364
11:15	38,61	30,1	907	355
11:20	37,63	38,61	910	343
11:25	38,12	38,61	912	332
11:30	37,63	38,61	911	321
11:35	36,66	38,61	916	235
11:40	36,66	38,12	913	320
11:45	36,17	37,15	921	336

11:50	35,68	37,63	919	336
11:55	36,66	38,12	911	319
12:00	36,17	37,15	918	330
12:05	35,68	36,55	919	331
12:10	35,19	36,66	919	326
12:15	35,19	36,66	919	340
12:20	35,19	36,66	920	344
12:25	35,68	36,66	916	338
12:30	35,19	36,17	917	338
12:35	35,19	36,17	915	337
12:40	35,19	36,66	917	337
12:45	35,68	36,66	915	338
12:50	35,68	36,66	916	338
12:55	35,68	36,66	921	340
13:00	36,17	37,63	918	347
13:05	36,66	38,12	922	354
13:10	37,63	39,1	918	354
13:15	38,12	39,59	915	355
13:20	38,61	40,08	912	354
13:25	38,61	40,08	917	361
13:30	30,15	40,57	915	358
13:35	39,59	41,06	911	357
13:40	40,08	41,06	910	361
13:45	40,08	41,06	912	366
13:50	39,59	41,54	915	31
13:55	41,06	42,03	903	322
14:00	41,06	42,52	908	321
14:05	41,54	43,01	911	331
14:10	41,06	42,52	910	320
14:15	41,06	42,03	919	315
14:20	39,1	41,06	914	313
14:25	39,1	40,08	910	310
14:30	39,1	39,59	911	311
14:35	37,63	39,59	915	311
14:40	37,15	38,61	917	308
14:45	37,15	38,61	916	309
14:50	37,63	38,12	917	312
14:55	37,15	38,61	914	309
15:00	37,15	38,61	914	309
15:05	37,63	38,12	940	319
15:10	37,15	38,61	917	308
15:15	33,24	33,72	914	319
15:20	33,24	34,21	940	308
15:25	32,75	34,7	933	300
15:30	32,75	34,7	933	297
15:35	32,75	33,72	931	298

15:40	32,75	33,24	933	291
15:45	32,77	33,24	933	292
15:50	32,26	33,24	936	289
15:55	32,26	34,21	936	284
16:00	35,68	37,15	910	323
16:05	36,17	37,63	908	333
16:10	37,15	37,63	898	335
16:15	36,66	38,12	902	334
16:20	35,68	37,15	896	341
16:25	36,66	38,12	893	344
16:30	37,15	37,63	892	335
16:35	36,66	37,63	903	333
16:40	35,68	37,15	897	343
16:45	36,66	37,63	902	336
16:50	36,17	37,15	898	335
16:55	36,66	37,67	872	336
17:00	36,17	37,15	916	338
17:05	36,66	37,67	916	367
17:10	37,63	39,1	918	367
17:15	36,66	38,12	917	366
17:20	36,66	38,12	921	373
MÉDIA	36,85	38,06	914,96	333,31
DESVIO PADRÃO	2,35	2,44	11,84	51,29

4.3 Discussão dos resultados

Uma vez que o protótipo não foi montado em um aterro sanitário de produção industrial de biogás, mas foi testado em condições de um ambiente aberto, os valores numéricos não têm significado de uma medição exata, em relação aos valores verdadeiros das grandezas. Porém o funcionamento do protótipo no que diz respeito a confiabilidade na aquisição e no armazenamento de dados conforme visto nos resultados apresentados (itens 4.1 e 4.2), mostram que a sua concepção e o uso dos componentes adequados, permitem concluir que o seu funcionamento será satisfatório em condições reais. Além disso vimos que é possível realizar medidas estatísticas a partir dos dados extraídos do cartão SD como mostrado na tabela 15.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi exposto, o desenvolvimento de um sistema microprocessado para leitura e coleta de dados da temperatura, concentração de biogás, e umidade do solo, relativos a um ambiente em aterro sanitário. Estes dados podem ser utilizados para o gerenciamento da produção de biogás de um aterro sanitário. Nos ensaios de laboratório, o protótipo funcionou como esperado, permitindo a aquisição de um grande conjunto de dados.

Consideramos que com a prova de conceito apresentada no presente trabalho, abre-se uma perspectiva para que através de uma análise quantitativa possa ser criado um modelo matemático capaz de prever os números de produção de gás metano em um aterro sanitário, mesmo na presença de variações meteorológicas diárias minimizando custos de operação e custos contratuais.

Acreditamos ter atingido o objetivo de coletar informações dos sensores, informações essas que analisadas servem para melhorar a qualidade de gerenciamento da produção de biogás em um aterro sanitário.

O uso do módulo cartão micro SD apresentou-se como uma alternativa para auxiliar no armazenamento das informações coletadas.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o protótipo apresenta uma resposta satisfatória, e que os resultados obtidos estão compatíveis com o que se espera do sistema desenvolvido sendo capaz de ajudar na medição de grandezas físicas no aterro sanitário.

5.1 Ensaios Experimentais do Sistema Microprocessado para Medição de Grandezas Físicas em Aterro Sanitário para Produção de Biogás

Durante a elaboração, desenvolvimento e execução do projeto foram encontrados diversos problemas e possíveis soluções de melhoria. Uma problemática encontrada no decorrer do desenvolvimento do projeto e durante a realização dos testes, foi o uso de uma tecnologia mais eficiente no armazenamento dos dados. Sugere-se o uso em trabalhos futuros utilizar-se padrões industriais e dispositivos em rede.

Além disso recomenda para pesquisadores na área de meio ambiente e afins, a atualização deste projeto/protótipo/produto, para a coleta de dados e pesquisas relacionadas, agregando-se sensores de outras grandezas físicas, ou outros dispositivos (atuadores), adaptando um novo sistema para outros tipos de ambientes e dados.

Sugere-se também em trabalhos futuros fazer o estudo e análise de vários poços, os quais seriam integrados para serem lidos por um sistema de supervisão.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15526. 3. ed. Rio de Janeiro - RJ, 2012.

ABREU, Antonio Diego Santos, Arduino – Plataforma Eletrônica Microcontroladora. 2012. Monografia (Bacharel) –Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2012.

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. Disponível em:<https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf> Acesso em: 13 set. 202.

BABILOTTE, A.; LAGIER, T.; FIANI, E.; TARAMINI, V. (2010) Fugitive Methane Emissions from Landfills: Field Comparison of Five Methods on a French Landfill. Journal of Environmental Engineering, n. 139, p. 777-784.

BAHR, T.; FRICKE, K; HILLEBRECHT, K.; KOLSH, F.; REINHARD, B. Clean BENEDÍ, J. A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Soil-water-solute process characterization: an integrated approach. Florida: CRC Press, 2005. 787 p

BRAGA, Carmela Maria Polito; BRAGA, A. R.. Instrumentação Industrial – Notas de aula. 2005, Belo Horizonte. Anais do Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Eficiência Energética, 2005. p. 1-14

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES (2008). *Guidance on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills (World Bank)*. Disponível em <http://www.iban.org.br>. Acesso em: 28 nov. 2020.

By Alirio Tenório Furtado Neto, José Mauro Sousa de Moura, Rodrigo da Silva, Raimundo Cosme de Oliveira Junior, Luciana Vanni Gatti, Thomas Röckmann Year: 2020 Container: Revista Brasileira de Meteorologia Volume: 34 Page: 585–596 DOI: 10.1590/0102-7786344071 Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/sMS8nkJVJBtFbmW9cN58ZWK/?lang=pt#>>. Acesso em: 23 out. 2020.

CANDIANI, G. (2011) Estudo da geração de metano em uma célula de aterro sanitário. Tese (Doutorado) em Energia. Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo.

COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Inter-unidades de PósGraduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 194p. 2006.

COSTA, Luiz Francisco Belém. O gás metano do aterro sanitário de Manaus e as possibilidades de uso social / Luiz Francisco Belém Costa. - Manaus, AM: UFAM, 2012.

DE SOUZA MENDES, Paulo Cesar. CARACTERIZAÇÃO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO COM TERMO-RESISTOR A TEMPERATURA CONSTANTE. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia.

E. F; FIGUEIREDO, C. M. S.; VIEIRA, M. A. M; BECHELANE, E. H.; CAMARA, D.; LOUREIRO, A. A. F. [et al]. Arquiteturas para redes de sensores sem fio. UFMG, 2004.

ECODEBATE, 2021. Redução das emissões de metano é oportunidade-chave na luta contra o clima. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2021/08/07/reducao-das-emissoes-de-metano-e-oportunidade-chave-na-luta-contra-o-clima/>> Acesso em 22 ago. 2022

ESCOBAR, L. Emissão de Gases de efeito Estufa em Sistemas de manejo em Solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa – RS, Santa Maria, 2008.

FERNANDES, J.G (ED.). Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federla de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FURTADO, Alirio Tenório Neto at al. Produção e Fluxo de Metano na Floresta Nacional do Tapajós. 2019. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/sMS8nkJVJBtFbmW9cN58ZWK/?lang=pt#>>. Acesso em 22 julho 2022.

KARLSSON, Tommy Manual básico de biogás / Tommy Karlsson [et al]. - Lajeado : Ed. da Univates, 2014. 69 p. ISBN 978-85-8167-073-7 1. Biogás I. Título CDU: 620.95:662.767.2 Catalogação na publicação – Biblioteca da Univates.

LUCERNONI, F. et al. Use of CFD for static sampling hood design: an example for methane flux assessment on landfill surfaces. Chemosphere, v. 163, p. 259-269, 2016

MACIEL, F.J. & JUCÁ, J.F.T. (2011) Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. Waste Management, v. 31, p. 966-977.

MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. New York, USA: Apress, 2010.

MENDES, L. G. G.; SOBRINHO, P. M. Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. UNESP – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v.11, n.2, p. 71-76, 2005.

MONACO, Alida at al. How Methane Emissions Contribute to Climate Change. Ge Year: 2021 Container: www.wri.org. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/methane-gas-emissions-climate-change>>. Acesso em: 29 out. 2022.

NECKER, Helder Sumeck; ROSA, Ana Lúcia Denardin da. ESTIMATIVA TEÓRICA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS DO FUTURO ATERRO SANITÁRIO DE JI-PARANÁ - RO. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, [s.l.] Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3416-3424, 13 fev. 2014. Universidade Federal de Santa Maria.

O HENRIQUE ZAMBON BRONDANI, P. et al. ANÁLISE DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO E CONVERSÃO EM ENERGIA. Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/17700-Texto%20do%20artigo-50853-506221-2-20201020.pdf>. Acesso em: 23 out. 2020.

OLIVEIRA, E.C.R. “ Avaliação de Protocolos para Redes de Sensores e redes Ad Hoc aplicados á TV Digital Interativa e Cidades Digitais” Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2006.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. Geração e utilização de biogás em unidades de Produção de suínos. Concórdia - SC, Embrapa suínos e aves, 42p. 2006.

PARK, J.-K.; KANG, J.-Y.; LEE, N.-H. Estimation of methane emission flux at landfill surfasse using laser methane detector: Influence of gauge pressure. Waste Management & Research, v. 34, n. 8, p. 784-792, 2016. RUIZ, L. B. Maná: uma arquitetura para gerenciamento de redes de sensores sem fio. Belo Horizonte: [s.n.], 2003.

RUIZ, L. B.; CORREIA, L. H. A; VIEIRA, L. F. M; MACEDO, D. F; NAKAMURA, SILVA, E.R. (2010) Modelagem Matemática da Produção e Transporte de Biogás em Aterros Sanitários. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, 82 p.

SILVA, T.N. & CAMPOS, L.M.S. (2008) Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes-SP. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 13, n. 1, p. 88-96.

SINGH R.; ANAND R. C. Comparative performances of Indian small solid-state and conventional anaerobic digesters. Bioresource Technology, Essex, v. 47, p. 235-238, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90186-4](http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524(94)90186-4)

SPOKAS, K.; BOGNER, J.; CHANTON, J.P.; MORCET, M.; ARAN, C.; GRAFF, C.; MOREAU-LE GOLVAN, Y.; HEBE, I. (2006) Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? Waste Management, v. 26, p. 516-525.

SWANA – The Solid Waste Association of North America. (1998) Comparison of Models for Predicting Landfill Methane Recovery. Publication GR-LG 0075. SWANA: Dallas, TX-USA.

TAVARES, Pedro Lemos. Redes de Sensores Sem Fio. 2012. Disponível em: < https://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/Redes%20de%20sensores/Redes%20de%20Sensores%20Sem-fio.htm>. Acesso em: 10 ago. 2022.

TAVARES, S. G. et al. Influência das variações térmicas e climáticas na produção de biogás. 2016 Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/3219-Texto%20do%20Artigo-13002-1-10-20161031.pdf>. Acesso em 22 ago. 2022

TRINCHERO, D. *et al.* Underground Wireless Sensor Networks. IXem Labs – Electronic Department - Politecnico di Torino, IEEE, ano 2009, v. 978-1-4244-4565-3/09/, p. 1-3, 9 set. 2009.

VELHOS, João Victor. Análise Do Impacto Da Variação Da Composição Do Gás Natural No Processo Single Mixed Refrigerant. 2018, lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/182368/001076625.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Accessed 2018.

WIKA, Exatidão de sensores de pressão – o que “precisamente” isso significa? 2023. Disponível em: < <https://blog.wika.com.br/know-how/exatidao-de-sensores-de-pressao/>> Acesso em: 09 set. 2023.