

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

JOÃO PEDRO ALVES CORDEIRO DOS SANTOS

**AUTOMAÇÃO DA COLETA DE DADOS NO ENSAIO DE BATELADA
NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

JOÃO PEDRO ALVES CORDEIRO DOS SANTOS

**AUTOMAÇÃO DA COLETA DE DADOS NO ENSAIO DE BATELADA
NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels

LONDRINA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Diretoria De Graduação E Educação Profissional
Coordenação De Engenharia Mecânica
Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO
AUTOMAÇÃO DA COLETA DE DADOS NO ENSAIO DE BATELADA NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS

por

JOÃO PEDRO ALVES CORDEIRO DOS SANTOS

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de agosto de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Roger Nabeyama Michels
Prof.(a) Orientador(a)

Amadeu Lombardi Neto
Membro titular

Claudia Santos Fiuza Lima
Membro titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me manter sempre com o sentimento de avançar, independentemente do tamanho dos desafios.

Agradeço a minha família que está sempre comigo, me apoiando, sem eles com certeza não teria chegado até aqui.

Agradeço ao apoio dos meus colegas de classe, que se tornaram amigos para vida, por me acompanharem durante esta minha jornada acadêmica, agradeço aos professores da UTFPR Londrina que estiveram comigo durante toda essa jornada, bem como o meu orientador pela paciência e direcionamento.

RESUMO

CORDEIRO, João Pedro. **Automação da coleta de dados no ensaio de batelada na produção de biogás**. 2021. 35. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

O biogás é uma fonte de energia alternativa que utiliza resíduos para produção de biometano e energia elétrica. Para que esta indústria possa se desenvolver é necessário um forte envolvimento da pesquisa para melhorar todo o processo de produção de gás, como os ensaios de produção em batelada. Com o intuito de desenvolver a pesquisa o presente trabalho demonstra a automação do sistema de coleta de dados de pressão em um ensaio de batelada na produção de biogás. Através de plataformas *open source* para proporcionar um melhor custo benefício frente a aquisição de informações, proporcionando uma redução no tempo de extração de dados e expandindo possibilidades para o desenvolvimento da automação no setor de pesquisa relacionado a produção de biogás e elaboração de tecnologias. De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar a eficiência do projeto desenvolvido, pois foi capaz de atender aos objetivos definidos. Dessa forma o equipamento desenvolvido com a elaboração do projeto foi aprovado e utilizado na empresa em questão, como padrão nas análises de BMP (*Biochemical Methane Potential*) realizadas.

Palavras-chave: Microcontrolador. Ensaio Laboratorial. Open Source. Ensaio em batelada.

ABSTRACT

CORDEIRO, João Pedro. **Automation of data collection in batch test in biogas production**. 2021. 35. End of Course Work, (Mechanical Engineering bachelor's degree- Federal Technology University - Parana. Londrina, 2021.

Biogas is an alternative energy source that uses waste to produce biomethane and electrical energy. For this industry to develop, a strong involvement of research is necessary to improve the entire gas production process, such as batch production tests. To develop the research, this paper demonstrates the automation of the pressure data collection system in a batch trial in biogas production. Through open-source platforms to provide a better cost-benefit against the acquisition of information, providing a reduction in the time of data extraction and expanding possibilities for the development of automation in the research sector related to biogas production and development of technologies. According to the results obtained it was possible to verify the efficiency of the developed project because it was able to meet the defined objectives. Thus, the equipment developed with the elaboration of the project was approved and used in the company in question, as a standard in the BMP (Biochemical Methane Potential) analyses performed.

Keywords: Microcontroller. Laboratory Assay. Open Source.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - - Matriz de energia elétrica brasileira em 2019.....	16
Figura 2 - Avanço das fontes renováveis no Brasil em 2019.	17
Figura 3 – Biogasmapp, Mapa das usinas de biogás instaladas no Brasil.	14
Figura 4 - Esquema representativo de um BLC.....	15
Figura 5 - Esquema representativo de um biodigestor UASB.....	15
Figura 6 - Esquema de uma usina de biogás.	16
Figura 7 - AMPTS II	18
Figura 8 - Esquema do ensaio BMP.	19
Figura 9 - Fluxograma do trabalho.....	22
Figura 10 – Montagem do BMP – coleta de dados manual.	23
Figura 11 – Esquema de ligação do indicador.	26
Figura 12 - Esquema de ligação do sistema.....	26
Figura 13 - Modelo da montagem do BMP.	28
Figura 14 - Arquitetura de projeto.	29
Figura 15 – Circuito acoplado ao microcontrolador.	29
Figura 16 – Demonstração da tela de aquisição de dados.	30
Figura 17 - Adaptações para a fixação do microcontrolador.....	30
Figura 18 - Montagem completa do sistema.....	31
Figura 19 – Detalhamento das adaptações realizadas.	31
Figura 20 - Gráfico de Correlação de Pearson	33
Figura 21 - Produção de biogás diária.....	34
Figura 22 - Volume de biogás acumulado.	35

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIOGAS	Associação Brasileira do Biogás
AMPTS	Automatic Methane Potential Test System
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Bi	Bilhões
BLC	Biodigestor de lagoa coberta
BMP	<i>Biochemical Methane Potential</i>
CIBiogás	Centro Internacional de Energias Renováveis
CLP	Circuito Lógico Programável
CNTP	Condições Normais de Pressão e Temperatura
CSTR	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
EPE	Empresa de Pesquisa e Energia
GNV	Gás Natural Veicular
GWh	Giga Whats hora
IDE	Integrated Development Environment
LED	Light Emitting Diode
Nm ³	Normal metro cúbico
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
USB	Universal Serial Bus
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA MALHA ENERGETICA BRASILEIRA....	16
2.2	ENERGIA ALTERNATIVA NO BRASIL	17
2.3	POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	13
2.4	BIOGÁS, PRODUÇÃO E TECNOLOGIAS.....	14
2.4.1	Tecnologias para Análises	17
2.4.2	Ensaio empíricos	18
2.5	MENSURA E AUTOMAÇÃO	20
2.5.1	Automação com a plataforma Arduino	20
3	METODOLOGIA.....	22
3.1	MEMORIAL DE CÁLCULO BASE.....	23
3.2	MATERIAIS.....	25
3.2.1	Materiais para a montagem do BMP	25
3.2.2	Materiais para a montagem da automação implementada.....	25
3.3	ELABORAÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO.....	25

3.4	IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO	26
3.4.1	Testes e aferição do método	27
3.4.2	Transcrição dos dados para a planilha	28
3.5	LEITURA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS	28
3.6	FABRICAÇÃO DO MODELO	29
4	RESULTADOS	32
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

O Biogás originado da biodigestão de matéria orgânica (CÍCERO, 2015), tem ganhado cada vez mais espaço quando se fala em energia verde, principalmente em uma matriz energética tão diversificada quanto a do Brasil.

De acordo com dados da ABIOGAS (2017), o Brasil possui um alto potencial de produção de geração de energia elétrica através deste recurso. No estado do Paraná, por exemplo, há um potencial de aproximadamente 3,8 Bilhões Nm³/ano de biogás, considerando resíduos do setor sucroenergético, proteína animal, saneamento e outros resíduos oriundos da agricultura, o que equivale a 15.147 GWh/ano e 3,6 bilhões de litros de diesel (ABIOGAS,2017).

Dessa forma, muitas pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento da aplicação desta fonte de energia para geração de eletricidade e produção de biometano como substituto para o GNV e Diesel no setor da mobilidade, além disso o substrato digerido, que é o resíduo da produção de biogás, não gera impacto ambiental negativo, tendo em vista que o chamado digestato, tanto líquido quanto sólido, geralmente é utilizado como adubo (POSTEL et al, 2010).

O avanço desse desenvolvimento proporciona uma melhoria direta em todo o processo. Os resíduos utilizados para a produzir o biogás devem ser estudados e avaliados, realizando-se um pré-tratamento para sua implementação nos biorreatores, assim, aperfeiçoando o processamento, para que se possa utilizar todo o potencial energético disponível nesta substância.

Para ampliar a evolução de toda essa técnica, a automação do sistema implica diretamente na remoção de possíveis variações e incertezas. Para isso, portanto, diversos dispositivos são implementados para verificar os dados relevantes que podem interferir na tomada de decisão, quanto mais simultânea e autônoma for essa extração de informações melhor é a interpretação do processo, reduzindo a propagação de variações e erros.

O BMP (*Biochemical Methane Potential*) é um método de avaliação empírica da produção de biogás e possui diversas formas de aplicação. O modelo utilizado para o estudo deste projeto, atualmente aplicado em uma empresa de biogás da cidade de Londrina, é o que verifica a produção por meio da pressão encontrada em cada frasco de amostra, em determinado período, transcrita manualmente para a realização dos

cálculos da produção de biogás, baseados nas metodologias de Firmo (2003) e Hansen et al (2004).

Desta forma, o trabalho presente traz uma solução para o método de coleta destes dados de pressão, que acontece de maneira manual, para a então determinação da produção de biogás, propondo a otimização do método de coleta de dados através de um microcontrolador *open source*, com plataforma para prototipagem.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Automatizar o método de coleta de dados de produção de biogás de um ensaio BMP.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender o sistema de medição
- Implementar solução eletrônica para conversão dos dados de leitura de pressão.
- Programar um código de implementação para transposição dos dados do microcontrolador para a planilha das análises do ensaio.
- Realizar montagem do sistema em um dispositivo de fácil manuseio.

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância de se aplicar um estudo que envolva o desenvolvimento energético é de suma importância, tendo em vista as circunstâncias em que estamos inseridos como sociedade, estas, nos levam a trilhar um caminho cada vez mais verde, em busca de aumentar a eficiência e autonomia das energias renováveis.

A elaboração do trabalho proporciona maior confiabilidade na extração dos dados do ensaio de BMP realizado na empresa em que o projeto foi desenvolvido. Os dados eram extraídos de maneira manual e posteriormente transcritos na planilha de análises do ensaio. Com a proposta o tempo necessário para esta coleta foi consideravelmente reduzido.

Além disso o desenvolvimento da automação do projeto desenvolvido na empresa leva a elaboração de um equipamento muito mais acessível financeiramente, quando comparado com outros que estão no mercado.

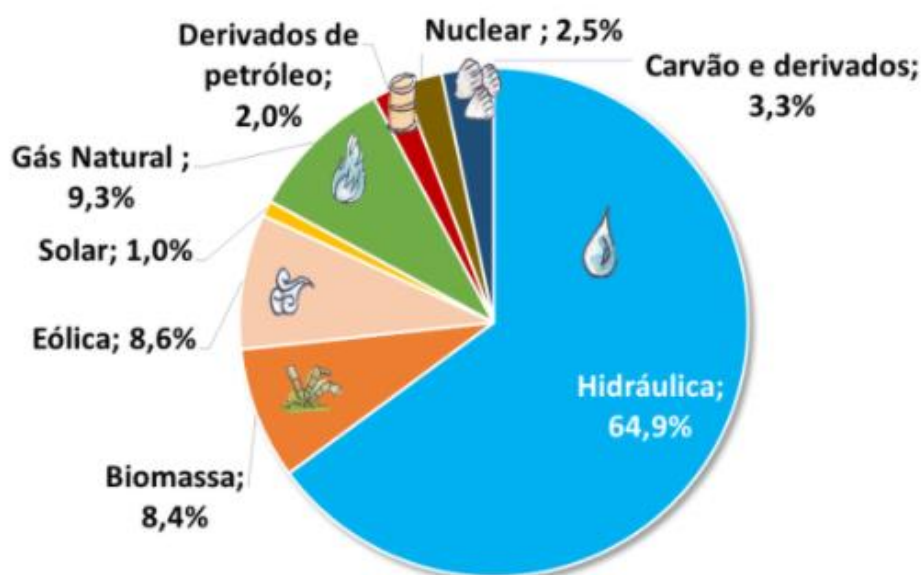
No mais, o trabalho contribui com o acervo de pesquisas para as intervenções que podem alavancar no desenvolvimento do uso do biogás, através de protótipos e microcontroladores.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA MALHA ENERGETICA BRASILEIRA

O Brasil possui dimensões continentais, e cada região pode ser caracterizada de diversas formas, principalmente quando se trata a disponibilidade de recursos para geração de energia que podem ser utilizados em larga escala (BERMANN, 2003).

Figura 1 - - Matriz de energia elétrica brasileira em 2019



Fonte: EPE (2020)

O gráfico da Figura 1 demonstra através dos dados da EPE, (Empresa de Pesquisa e Energia), a composição da matriz energética atual do Brasil, majoritariamente preenchida pela energia extraída de fontes hídricas, isso se dá pela vasta disponibilidade de bacias que o país possui. Sendo a energia gerada por hidrelétricas a principal fonte de energia elétrica e provavelmente a mais conhecida, possui benefícios, que a caracterizam como energia renovável por não utilizar combustíveis fósseis, mas sua implantação, além do alto custo, geralmente causa grandes danos ambientais que impactam toda a região, ferindo até mesmo um ecossistema inteiro, além de toda a necessidade de realocar animais e pessoas, dependendo da região da fundação (JÚNIOR, 2013). Porém, mesmo com essa supremacia, muitas outras formas de energia têm se apresentado como alternativa

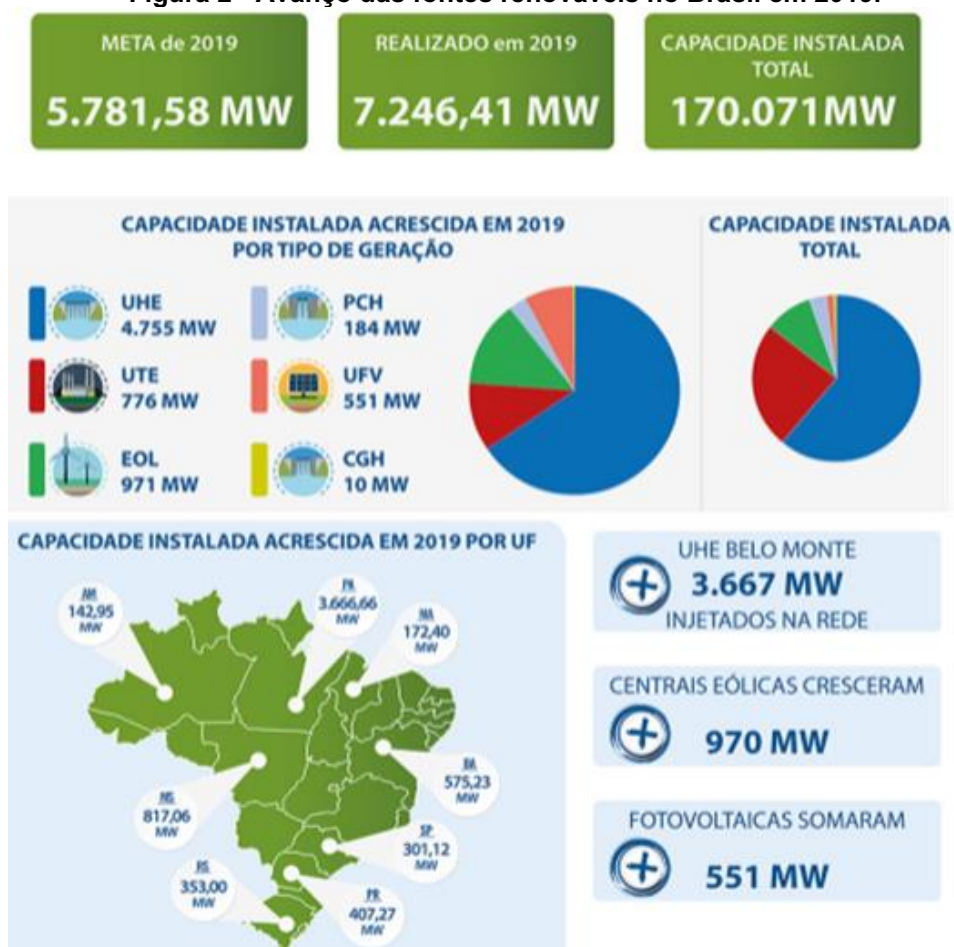
para a demanda vigente, o que não torna as fontes concorrentes mas complementares.

Como demonstrado na Figura 1, outros meios de geração de energia elétrica já são totalmente estabelecidos no Brasil, mesmo não apresentando a maior parte de produção.

2.2 ENERGIA ALTERNATIVA NO BRASIL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que realiza a concessão, regulamentação e fiscalização da geração de energia elétrica, apresenta o avanço do envolvimento de energias renováveis na matriz energética do Brasil através do painel exibido na Figura 2, caracterizando o avanço desses meios, e o impacto no setor de energia, com foco para usinas de energia eólica e solar, fontes de energia alternativa.

Figura 2 - Avanço das fontes renováveis no Brasil em 2019.



Fonte: ANEEL (2020)

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas	UHE - Usina Hidrelétrica
UTE – Usinas Termelétricas	EOL- Centrais Geradoras Eólicas
UFV – Usinas Fotovoltaicas	CGH - Centrais Geradoras Hidrelétricas

Tais meios têm sido explorados por diversos interesses diferentes, como por exemplo, preocupações ambientais, buscando cada vez fontes renováveis com menor impacto ambiental possível; exploração da diversidade de recursos e a assimilação de oportunidade de negócios.

2.3 POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A ABIOGAS, no mapa de Potencial de biogás no Brasil (ABIOGAS,2021), caracteriza um potencial de 44,1 Bi Nm³/ano de volume de produção de biogás, utilizando resíduos dos setores sucroenergético, agropecuário, e saneamento, que proporcionaria 170.912 GWh/ano de energia elétrica.

O Biogás por sua vez, sendo um recurso alternativo para a geração de energia tem se expandido cada vez mais no cenário brasileiro, a CIBiogás uma Instituição de Ciência e Tecnologia em formato de associação, no seu panorama do biogás do Brasil de 2019 apresenta um cenário onde diversas usinas, de portes variados, são classificadas e tem conquistado um papel relevante no setor de geração. É possível encontrar no biogásmap, uma ferramenta online da CIBiogás, a relação de usinas de biogás no Brasil, demonstrado no Figura 3.

De acordo com o panorama da CI (CIBiogás, 2020), existem 521 plantas de biogás, que produzem 1.35 Bi Nm³/ano de biogás. Em comparação com o potencial levantado pela ABIOGAS, a produção atual brasileira equivale a 3,06% de todo o potencial que os resíduos podem gerar.

Figura 3 – Biogasmap, Mapa das usinas de biogás instaladas no Brasil.



Fonte: CIBiogás 2021

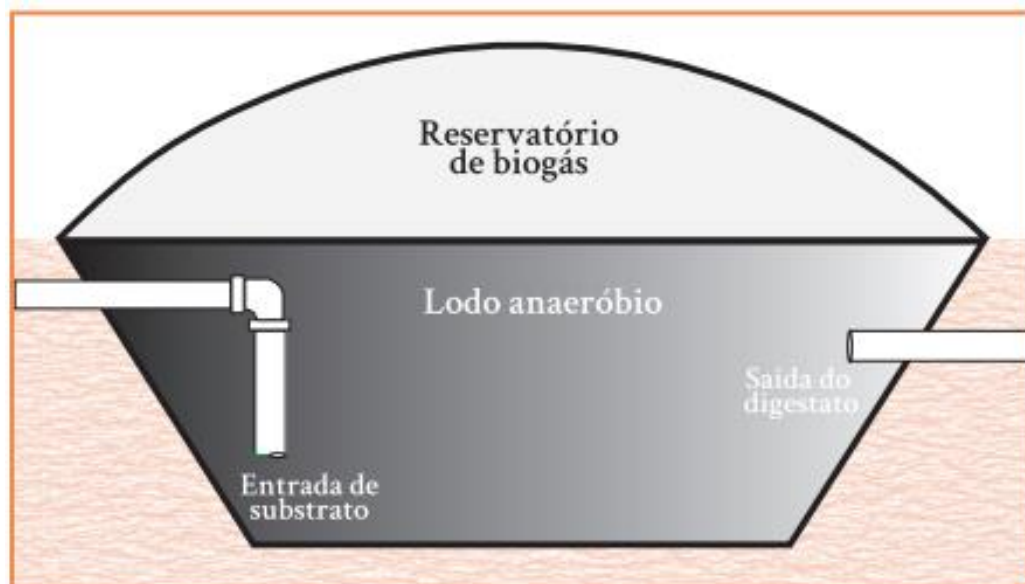
2.4 BIOGÁS, PRODUÇÃO E TECNOLOGIAS

A produção do biogás é natural, sendo resultante da degradação dos resíduos através das bactérias (BLEY JR, 2015). Portanto, com o objetivo de reproduzir e controlar este fenômeno em condições específicas, visando utilizar o biogás como produto energético, diversas aplicações tecnológicas são desenvolvidas.

O biorreator é o coração de uma usina de biogás, pois é nele que são aplicados os resíduos e é onde o biogás é gerado, na prática o tipo de biodigestor a ser utilizado varia de acordo com o processo de fermentação, podem ser caracterizados de acordo com o seu modelo, forma de alimentação e a concentração de sólidos no reator. São eles o Biodigestor de lagoa coberta (BLC), Biodigestor tipo UASB, Biodigestor CSTR, Biodigestor em fase sólida (dry digestion), (AMARAL, 2019).

O BLC é um tanque (Figura 4), que geralmente é escavado no solo, impermeabilizado com uma lona flexível para acumular biogás, muito usado no meio rural para controle de efluentes de origem animal, não possuem sistemas de aquecimento ou agitação.

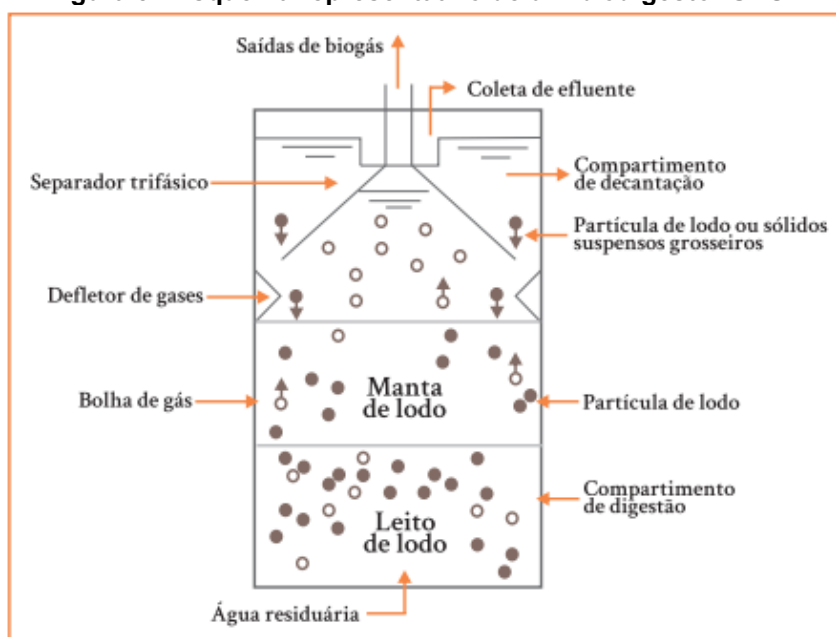
Figura 4 - Esquema representativo de um BLC.



Fonte: Amaral, 2019. Embrapa.

Já UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que significa: Manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente é um digestor que fornece um fluxo ascendente ao efluente. A Figura 6 Apresenta um modelo esquemático deste tipo de biorreator.

Figura 5 - Esquema representativo de um biodigestor UASB.



Fonte: Amaral, 2019. Embrapa.

CSTR, *Continuous Stirred Tank Reactor* (reator com tanque agitado continuamente) É o modelo mais utilizado em usinas de grande porte. É o digestor

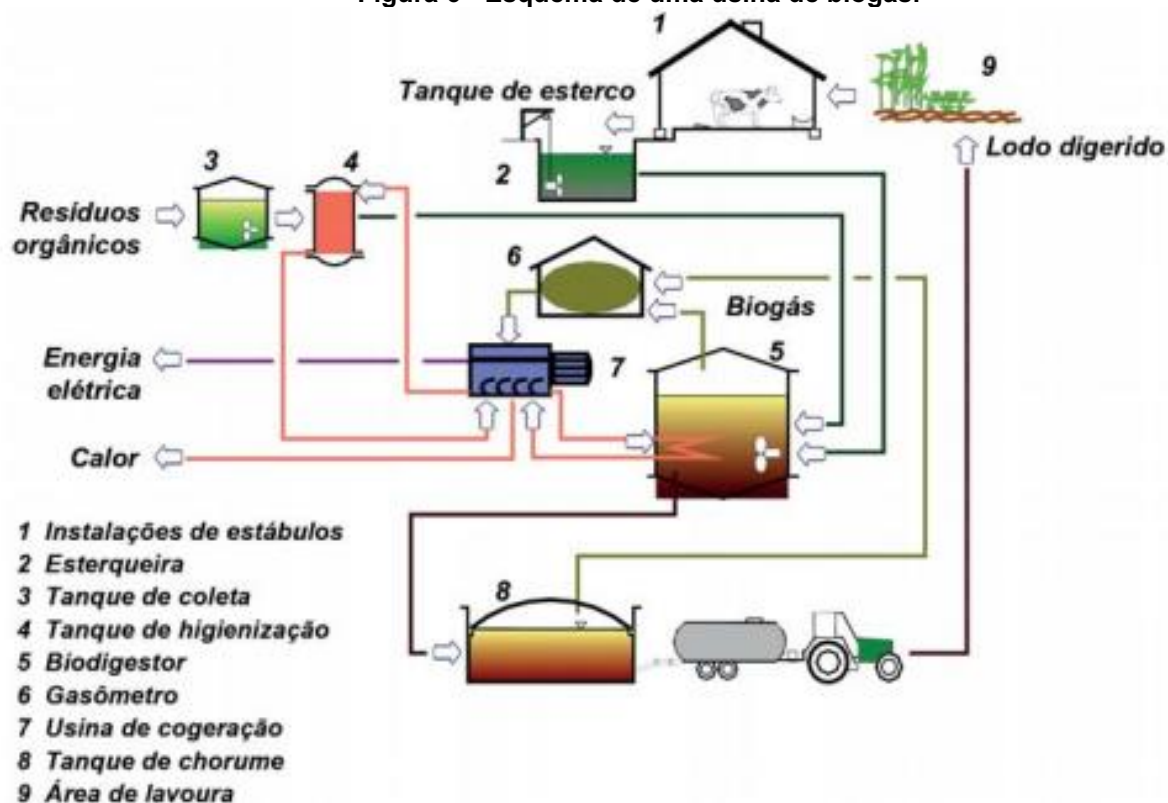
que tem maior capacidade de matéria orgânica, pois promove uma mistura praticamente uniforme do substrato.

Apesar do elevado custo de instalação e conservação, as vantagens são significativamente relevantes, na troca de calor e ampliação de superfície de contato dos sólidos e as bactérias, promovendo uma produção de biogás mais acentuada que nos modelos citados anteriormente.

A Figura 7 apresenta um esquema que demonstra o fluxo dos resíduos, efluentes e produtos de uma planta de biogás.

Existem outras configurações de usinas que caracterizam outros aspectos como o *Biogas upgrade*, ou purificação do biogás, que é a extração do metano contido no biogás, este tipo de planta é muito utilizado em usinas que comercializam tanto energia elétrica gerada, quanto a venda do próprio gás CH_4 , nesse caso chamado de biometano.

Figura 6 - Esquema de uma usina de biogás.



Fonte: POSTEL,2010, p35.

O resíduo geralmente é extraído do campo e lavoura, armazenado nas usinas em vagões, injetados nos biodigestores, onde acontecem todos os processos bioquímicos da produção do biogás, que em sua composição básica é formada por

metano CH₄, CO₂ e H₂S (AMARAL, 2019), em proporções que variam de acordo com cada matéria prima. O ácido sulfídrico é prejudicial aos motores e tubulações, usinas de biogás geralmente tem um processo de dessulfurização bem estabelecido.

O Desenvolvimento do biogás, de acordo com Bley Jr (2015), teve seu início na década de 1970 (biogás de primeira geração), porém havia pouco cuidado com a biomassa utilizada, pois seu principal propósito era o tratamento dos resíduos da indústria de alimentos, e desde essa época, a pesquisa para melhoria de processos foi sendo consolidada, assim como a legislação, que por diversas vezes teve um caráter prejudicial para o desenvolvimento desse mercado energético, pois o enxergava como um resíduo destrutivo no geral.

Apenas na década de 2000 que o biogás teve o seu papel energético caracterizado, transformando-o em um produto econômico e ambientalmente viável.

A importância do desenvolvimento da pesquisa do biogás se dá por essa necessidade, de corrigir falhas de processo, e imprevistos que surgem dessa tecnologia que é recente. À vista disso diversas tecnologias têm sido propostas para, laboratorialmente, estabelecer as capacidades de produção de um determinado resíduo, para que se possa então caracterizar um valor de produção teórico, que será utilizado como parâmetro para a aplicação do resíduo no biorreator.

2.4.1 Tecnologias para Análises

Em centros de pesquisa que determinam o valor teórico de produção de biogás, este levantamento é feito através de vários ensaios que são realizados na amostra. Um método desenvolvido por uma empresa sueca de tecnologia, para a determinação do potencial bioquímico de metano do biogás, torna a análise um pouco mais empírica, neste método o AMPTS (*Automatic Methane Potential Test System*) equipamento desenvolvido pela empresa, contabiliza o metano produzido no biogás através do volume de gás expelido, após a remoção de CO₂ (Bioprocess,2019). Porém, o custo deste equipamento, principalmente por ser importado, inviabilizava a aquisição em quantidades suficientes a atender as análises necessárias, visando contemplar todas as possibilidades da expansão do mercado de biogás nacional, de forma que também instiga o desenvolvimento de uma tecnologia aplicável e desenvolvida nacionalmente.

Figura 7 - AMPTS II

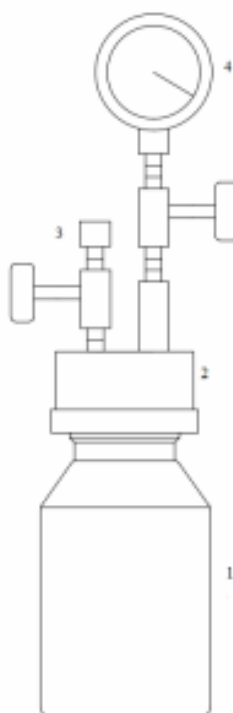
Fonte: (BIOPROCESS, 2019)

O BMP propriamente dito é um teste do potencial de produção de biogás, que avalia a o volume de determinada matéria-prima submetida ao processo de digestão anaeróbia em batelada, e no caso do trabalho presente, através de uma determinação manométrica.

2.4.2 Ensaio empíricos

Para exemplificar a aplicação e desenvolvimento dessa metodologia de estudo, podemos citar algumas referências, como o artigo da revista GEAMA (Thayna, 2019), uma das principais referências deste trabalho, que realizou a montagem de um reator exemplificado na Figura 8, com um manômetro para controle de pressão, e uma saída de gás, ambos instalados por válvulas agulha.

No artigo de referência, são caracterizadas as etapas para a realização do ensaio, mas para o presente trabalho, a parte de monitoramento e avaliação é a mais relevante, de forma que os dados de pressão foram tomados diariamente, já os dados da composição do biogás em dias especificados, a amostra foi analisada em um cromatógrafo APPA GOLD, com uma coluna Porapak "N", com 60°C de temperatura de forno

Figura 8 - Esquema do ensaio BMP.

Legenda: Frascos de vidro de borossilicato, (1) Tampa rosqueada (2), Válvulas-agulha (3), Manômetro.

Fonte: (Silva et. al. 2019)

A válvula de alívio era utilizada para remoção do biogás produzido, de maneira que uma tomada de dados de produção diário ocorresse, mas também foi determinada produção total, através da soma dessas produções diárias.

O método, baseado na metodologia de Firmo et. al, se dá pela conversão da diferença de pressão dentro do recipiente causada pela produção de biogás, metodologia também usada por Ivanova et al. (2008), fundamentado na lei fundamental dos gases (HALLYDAY, 2012).

O biogás produzido nos frascos de vidro fica armazenado no chamado *headspace*, o volume “vazio” entre o substrato e a tampa do recipiente, que após a inserção da amostra passa por uma purga de N₂ ou O₂, de forma que não tenha ar, ou algum contaminante nesse espaço, que possa interferir na análise.

A produção causada pelas bactérias ocasiona um aumento de pressão (ΔP em mbar) no espaço que se encontra vedado, verificado com um manômetro através da inserção da válvula agulha a cada dia.

2.5 MENSURA E AUTOMAÇÃO

Existem diversos métodos para a captação e leitura de dados de pressão, um deles é o manômetro analógico, limitado pela obtenção visual de dados, descrito no processo do BMP de Silva et. al. (2018), mas também existem equipamentos como os transmissores de pressão, do tipo piezo resistivo (VELKI,2020), que a partir de um diafragma que fica em contato direto com o fluido medem a pressão exercida do fluido sobre este componente.

Além disso um sensor na parte interna do diafragma converte a variação de pressão em uma variação resistiva que equivalha eletricamente, sinal transformado por um circuito em um sinal de corrente 4-20 mA ou tensão de 0-5/10 Vcc, sinal que pode ser lido e interpretado em diversos tipos de indicadores, CLP's ou circuitos integrados com entradas analógicas.

2.5.1 Automação com a plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de placa única *open source* de prototipagem eletrônica de hardware livre, baseada em um microcontrolador, no caso específico do Arduino UNO, o ATmega328P, possui 14 pinos de entradas/saídas digitais e 6 analógicas, utiliza linguagem de programação C++, além disso possui uma conexão USB-serial (ARDUINO. CC, 2021).

As entradas analógicas do Arduino recebem dois tipos de sinal, um de tensão de 0 - 5 V e outro de corrente 4 – 20 mA, esses sinais são interpretados pelo microcontrolador como sinal em bits de 0 a 1023 unidades, portanto para os valores que serão computados como entrada no microcontrolador é necessária uma conversão, que acontece através dos códigos implementados.

A portas digitais possuem características de recepção e envio de sinal, porém sinais digitais de 1 e 0, sendo sinais de tensão.

A programação acontece através da comunicação da placa com o computador a partir da conexão serial estabelecida, dentro de uma IDE (*Integrated Development Environment*) que é onde efetivamente acontece a programação da placa. Existem diversas maneiras de se realizar o mesmo processo utilizando o Arduino, pois sendo uma plataforma de código aberto, possui diversas bibliotecas que realizam incrementos e soluções, além das próprias bibliotecas de códigos originais da IDE.

Pela infinidade de recursos disponíveis e compatíveis com a plataforma do Arduino, sua aplicação no desenvolvimento de protótipos é muito grande, no seguinte

trabalho foi utilizado para estabelecer a comunicação da leitura do transmissor de pressão com o computador, realizando a captação direta dos dados.

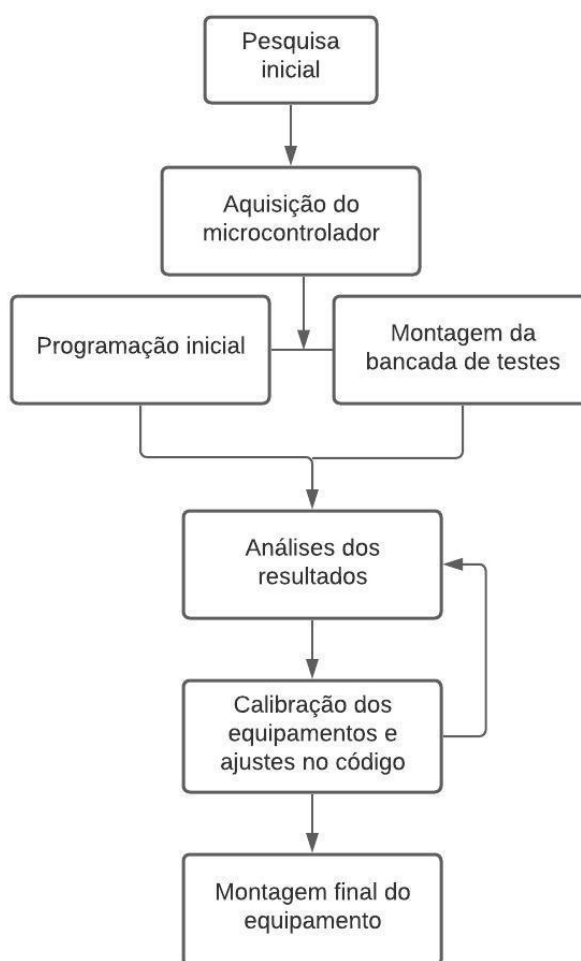
A ferramenta de aquisição de dados Parallax (PLX-DAQ, 2020) é um software gratuito que permite a comunicação da porta serial do Arduino com o Microsoft Excel, capaz de atender até 26 canais de dados de qualquer microcontrolador. Os dados são descarregados em colunas conforme eles chegam na serial.

O PLX-DAQ fornece análise fácil de planilhas de dados coletados no campo, bem como sua organização na planilha, muito utilizado em análises laboratoriais e monitoramento de equipamentos em tempo real (PARALLAX,2020).

3 METODOLOGIA

O projeto de automação deste trabalho foi realizado em parceria com uma empresa de biogás do norte do Paraná, onde o autor realizava estágio, com o intuito de melhorar a coleta de dados presente no ensaio BMP da empresa. A Figura 11 apresenta um fluxograma da proposta inicial de descrição das atividades relevantes para a execução do projeto

Figura 9 - Fluxograma do trabalho.



Fonte: Próprio Autor.

O sistema anterior tinha sua extração dos dados de maneira manual, ou seja, após a realização da medição da pressão, os dados eram transcritos para uma tabela de depois transposta para uma planilha eletrônica.

Figura 10 – Montagem do BMP – coleta de dados manual.



3.1 MEMORIAL DE CÁLCULO BASE

A expressão utilizada para o cálculo do biogás é descrita conforme a dedução a seguir iniciando na Equação 1, baseada nas metodologias de referência, partindo da lei fundamental dos gases em comparação de estados pra condições normais de temperatura e pressão.

Considerando o estado 1 como o estado anterior a liberação do gás para a atmosfera e o estado 2 o momento após essa liberação. De forma que a temperatura é constante, pois o mesmo, encontra-se um agitador com ambiente controlado.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

$$p_1 = p_{atm} + \Delta p \quad (2)$$

$$(p_{atm} + \Delta p)V_h = p_{atm}(V_h + V_{biogás}) \quad (3)$$

Onde:

$V_h =$ Volume do headspace (ml);

$p_1 =$ pressão inicial (mbar);

$p_{atm} =$ Pressão atmosférica (mbar);

$\Delta p =$ Diferença de pressão desenvolvida pelo biogás(mbar);

$V_{biogás} =$ Volume de biogás produzido (mbar);

Isolando o volume produzido chega-se na seguinte expressão para a determinação de volume de acordo com a Equação 4:

$$V_{biogás} = \frac{\Delta p}{p_{atm}} V_h \quad (4)$$

Para um experimento é necessária uma correção do volume medido, tendo em vista o vapor saturado de água produzido internamente, utilizando correções para o estado de ar seco de acordo com as CNTP, para tal a pressão de vapor de água, temperatura e pressão do ambiente confinado são levados em conta.

Essa pressão de vapor é determinada de acordo com a temperatura ambiente,

$$p_{vapor} = 0,61121 \cdot e^{\frac{17,05 \cdot T_{amb}}{240,97 + T_{amb}}} \quad (5)$$

Resultando na seguinte expressão decreta

$$V'_{biogás} = V_h \cdot \frac{\Delta p}{1013} \cdot \frac{273,2}{273,2 + T_{amb}} \cdot \left(1 - \frac{p_{vapor}}{p_{atm}} \right) \quad (6)$$

Sendo a última expressão (7) a que será utilizada para implementação do código, de forma que os valores lidos no sensor serão a entrada da diferença de pressão da equação.

3.2 MATERIAIS

Nesta seção serão descritos os materiais utilizados na montagem do experimento base, e os itens para a automação necessária

3.2.1 Materiais para a montagem do BMP

A montagem do ensaio BMP necessitará dos seguintes componentes.

- Frascos de vidro 500 mL
- Rolhas de borracha tipo de butila
- Agulha hipodérmica 40 x 12
- Sistema de agitação com controle de temperatura
- Transmissor de pressão acoplado a um indicador

3.2.2 Materiais para a montagem da automação implementada.

Para a automação do sistema serão necessária a aquisição dos seguintes materiais e componentes:

- Microcontrolador / plataforma de prototipagem (Arduino UNO)
- Botão “*pull up*”
- LED 2V.
- Resistor 240 Ω
- Cabos para ligações
- Cabo para comunicação Serial-USB

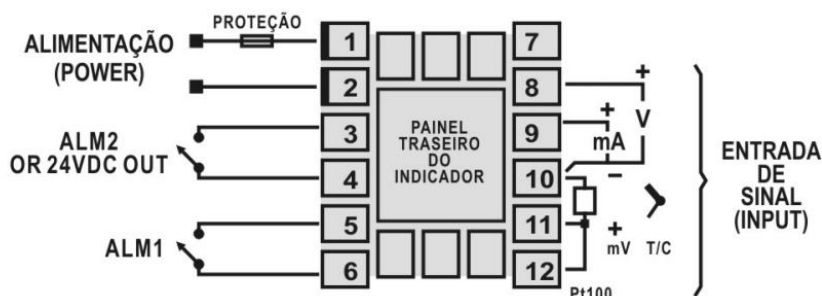
3.3 ELABORAÇÃO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Um circuito foi elaborado para que o sinal do sensor fosse lido pela porta analógica do Arduino, e a leitura somente iniciada quando acionado o botão, ligado a porta digital **02** como entrada. Para confirmar o início da leitura o LED acende, ligado como saída de sinal na porta digital **03**, ligado ao resistor de 240 Ω para a queda de tensão necessária no LED.

A entrada analógica **A0** do Arduino recebe o sinal de tensão, referenciado pelo indicador que está acoplado no sensor, porém, como o sinal do sensor é um sinal de corrente, há interferência na leitura de sinal no Arduino, sendo necessária uma

correção estatística implementada no código, que realiza uma leitura de 2000 dados e estipula a média, que será utilizada no programa.

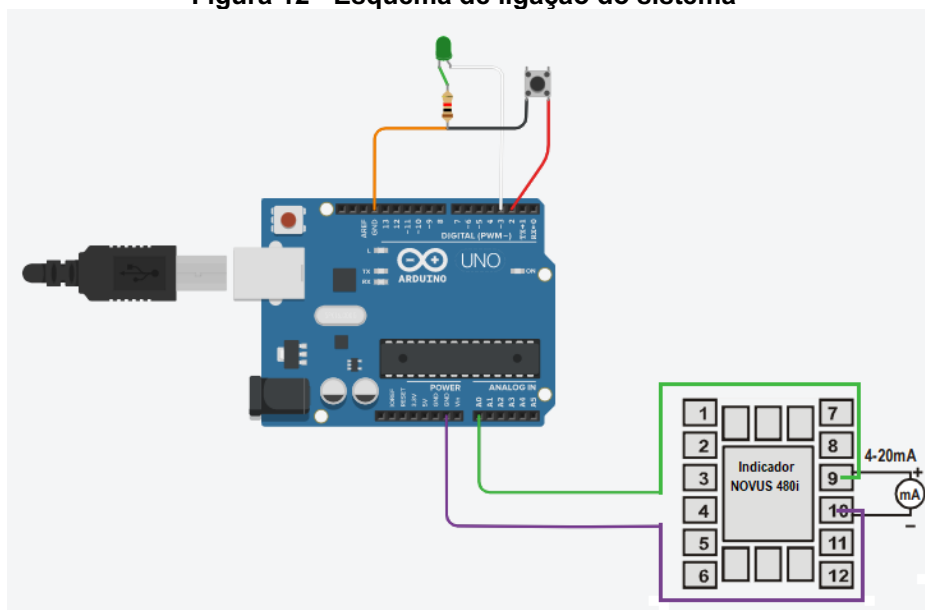
Figura 11 – Esquema de ligação do indicador.



Fonte: Catálogo NOVUS.

A alimentação do microcontrolador é dada pelo cabo serial - USB, que também faz a comunicação de dados com o computador.

Figura 12 - Esquema de ligação do sistema



Fonte: Próprio autor.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO

O código em si, tem como principal objetivo realizar a conversão deste sinal analógico em um sinal digital, que é direcionado para a saída serial do Arduino. Bem como transcrever os dados obtidos para a planilha, realizado em conjunto com o macro da PLX-DAQ.

O código implementado na IDE deve satisfazer os seguintes requisitos:

- Conversão do sinal de tensão para a leitura em mbar e volume de biogás produzido em ml;
- Enviar os dados tratados, bem como data e hora para uma planilha externa.

3.4.1 Testes e aferição do método

O sensor utilizado é um sensor com saída 4-20 mA, desta forma, ao se realizar a leitura de valores de tensão, o 0 mbar do sensor não corresponde a medida 0 do Arduino que lê o sinal de entrada e o interpreta de 0 a 1023 unidades (no caso do Arduino UNO, que possui um limite de 10 bits), onde o zero da escala corresponde a aproximadamente 78 unidades de acordo com os primeiros testes realizados, o que é calculado então, para se obter os mesmos valores mostrados no indicador foi implementado o seguinte roteiro de cálculo no código:

$$valor = (valor\ lido - 78,53) \quad (7)$$

$$valor = valor \cdot 1,6335 \quad (8)$$

Sendo este valor de 1,6335 obtido pela expressão genérica de verificação do sistema

$$valor = \frac{600(mbar)}{[(Limite\ da\ escala - "zero")(em\ bits\ lidos\ pelo\ Arduino)]} = \frac{600}{367,3} \quad (8)$$

Dessa forma o valor obtido com o código deve corresponder ao demonstrado no indicador, para realizar o ajuste do fator de escala.

Portanto para a aferição do método, o Arduino deve ser conectado juntamente ao indicador, em um código de simples leitura, de forma que porta serial funcione de maneira semelhante a um multímetro, onde serão possíveis obter os valores em bits de limite da escala, máximo e mínimo.

Acoplado uma seringa a entrada de gás do sensor, foi possível impor ao transmissor de pressão o limite de escala, um sinal de 20 mA, interpretado da maneira adequada, de acordo com a proposta de ligação indicada. Conhecendo o sinal de tensão correspondente a 4 mA, que representaria 0 mbar, é possível então executar a adequação do código.

Figura 13 - Modelo da montagem do BMP.



3.4.2 Transcrição dos dados para a planilha

Para atender este quesito foi utilizado um programa auxiliar, PLX-DAQ. Que relaciona valores demonstrados na saída serial da IDE do Arduino em uma planilha do Excel, podendo ser incrementado o código do programa ao código para a automação do sistema. O programa possui uma implementação de macro, que permite a comunicação com a serial do Arduino, é possível transcrever os dados de uma forma mais direta para a planilha de controle do ensaio

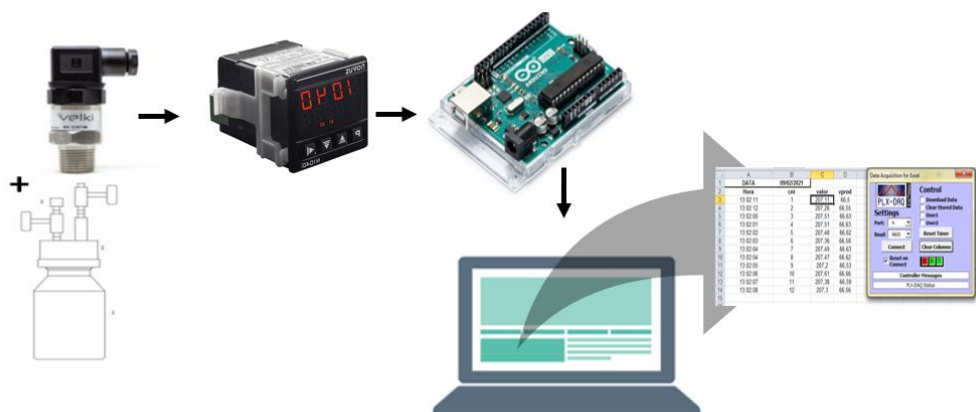
3.5 LEITURA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

Dessa forma, com o código implementado no IDE do Arduino e compilado para o microcontrolador, é possível obter a leitura desses dados na serial do Arduino.

A construção do código se baseia inicialmente na leitura simples desses dados de tensão obtidos na porta analógica do Arduino. Entretanto, foram necessárias adaptações na organização dos dados e a maneira de captura, bem como adaptações

físicas do projeto, sofrendo assim, diversas alterações para corresponder às expectativas desejadas.

Figura 14 - Arquitetura de projeto.

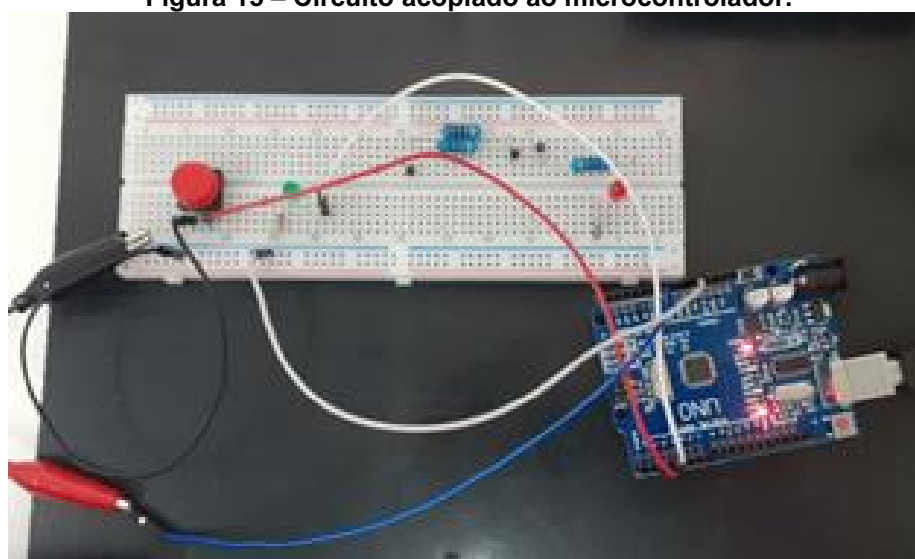


Fonte: Próprio Autor.

3.6 FABRICAÇÃO DO MODELO

Após a configuração da arquitetura do projeto, a montagem para testes foi realizada com o auxílio de uma *protoboard* que auxiliava o acoplamento dos componentes, como demonstrado na Figura 14. O circuito foi elaborado para que o sinal do sensor fosse lido pela porta analógica do Arduino, e a leitura somente iniciada quando acionado o botão.

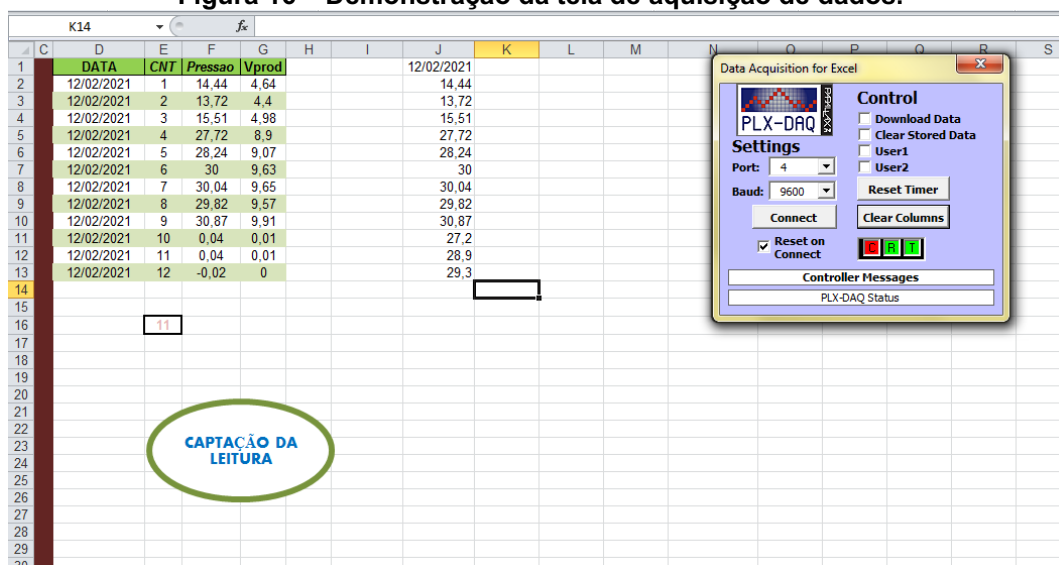
Figura 15 – Circuito acoplado ao microcontrolador.



Uma demonstração da tela dos resultados extraídos é exposta na Figura 15, de forma que os dados representados na figura não configuram nenhum ensaio de

BMP em específico, apenas a verificação da transposição dos dados do indicador, para a planilha de dados.

Figura 16 – Demonstração da tela de aquisição de dados.



Com a realização dos testes necessários foi executado a montagem de todos os componentes em um case (Figura 16), já utilizado para a montagem do indicador, para conter todos os componentes de maneira organizada, de maneira a evitar interferências de leitura, e manter todos componentes acoplados.

A implementação de um computador exclusivo para a leitura dos dados, proporcionou verificar exatamente o que está ocorrendo durante a medição, e possibilitando a intervenção imediata, algo que com o incremento de um *datalogger* acoplado a um cartão SD não é possível, pois o Arduino em questão não possui visor.

Figura 17 - Adaptações para a fixação do microcontrolador.



Figura 18 - Montagem completa do sistema



Com essas adaptações o trabalho do operador do equipamento de transcrever a leitura mostrada no visor do indicador, para um papel e posteriormente para uma planilha de análise foi reduzido a um simples botão, mais detalhado na Figura 18.

Figura 19 – Detalhamento das adaptações realizadas.



4 RESULTADOS

Os resultados a seguir foram extraídos de um ensaio de verificação de alguns dispersantes, no qual foi verificado o impacto deste reagente na biodigestão. Vale ressaltar que os testes iniciais para validação do equipamento, poderiam ser realizados em qualquer ensaio de BMP, é destacado neste trabalho o impacto deste produto na produção de biogás, pois era o que estava sendo realizado na época pela empresa.

As amostras foram analisadas em triplicada, sendo caracterizadas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das amostras analisadas.

CTRL Inóculo	Inóculo (Produto fermentativo), sem nenhuma adição de matéria orgânica, controle negativo
CTRL Substrato	Inóculo com adição de 5,98 g de substrato (resíduo agroindustrial), controle positivo
AE 4405 5 ppm	Controle positivo com 5 ppm do dispersante AE4405
AD 5520 GA 20 ppm	Controle positivo com 20 ppm do dispersante 5520 GA

As medições foram tomadas diariamente, sendo realizados pequenos ajustes, principalmente nas constantes presentes no código para melhorar a performance do sistema.

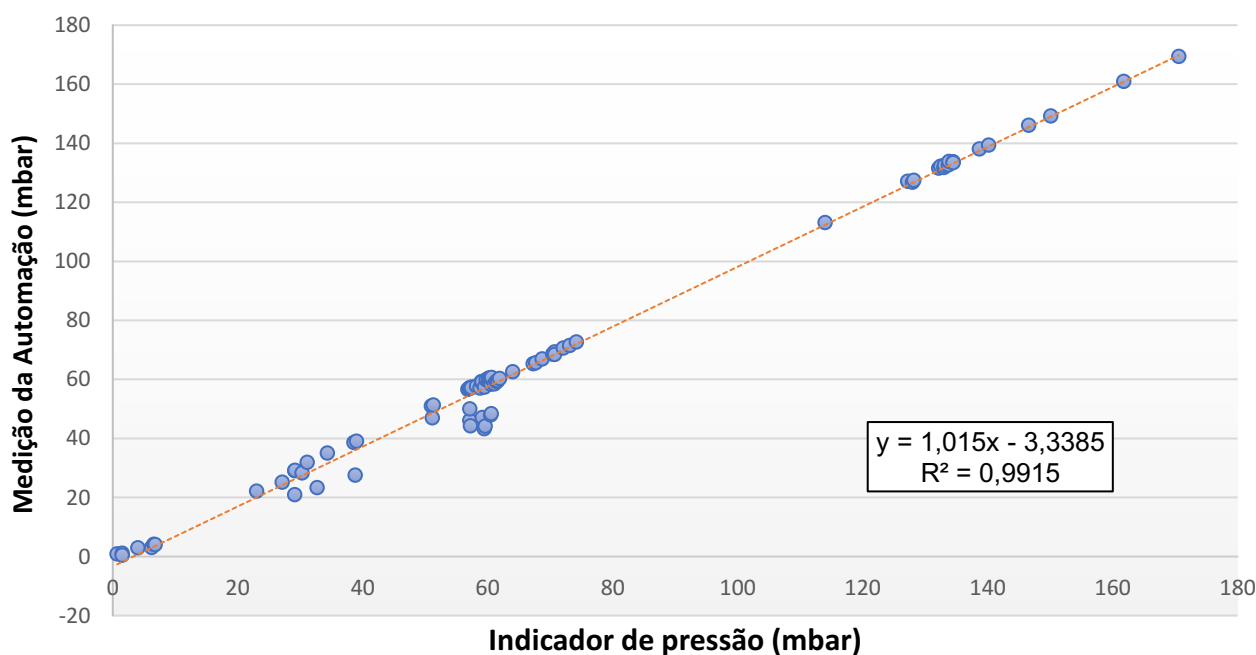
Dessa forma, de maneira a comparar os dados extraídos pelo sistema dimensionado com o exposto no indicador de pressão, as operações foram realizadas mantendo os dois padrões (antigo e o proposto), como demonstrado no Quadro 1. Os dados foram coletados durante 7 dias. Para não proporcionar excesso nas paginas, os dados demonstrados no Quadro 1 são as medições do primeiro e último dia, sendo analisados no total 84 medições, 12 ao dia ,cada amostra realizada em triplicata.

Quadro 1 – Comparação dos valores medidos com o novo Sistema e o método anterior.

Data	15/03/2021		22/03/2021	
	Indicador de pressão	Medição da Automação	Indicador de pressão	Medição da Automação
CTRL Inóculo 1	6,20	3,09	34,34	35,15
CTRL Inóculo 2	6,80	4,1	29,18	29,2
CTRL Inóculo 3	6,60	4,25	39,00	39,1
CTRL Substrato 1	61,90	60,33	56,84	56,7
CTRL Substrato 2	60,50	58,4	58,22	57,75
CTRL Substrato 3	61,10	58,52	60,52	60,55
AE 4405 5 ppm 1	58,80	57,11	57,18	57,2
AE 4405 5 ppm 2	61,60	59,57	60,62	60,65
AE 4405 5 ppm 3	59,50	57,47	60,16	60,45
AD 5520 GA 20 ppm 1	61,40	59,38	51,28	51,35
AD 5520 GA 20 ppm 2	61,50	59,39	57,38	57,45
AD 5520 GA 20 ppm 3	67,70	65,65	59,74	59,9

Para verificar a eficiência do equipamento foi realizado o teste de correlação de Person, que consiste em avaliar o nível de correlação linear de duas variáveis quantitativas, este índice é adimensional, de forma que quanto mais próximo de 1, melhor o índice da correlação. Os dados foram plotados no gráfico da Figura 20.

Figura 20 - Gráfico de Correlação de Pearson

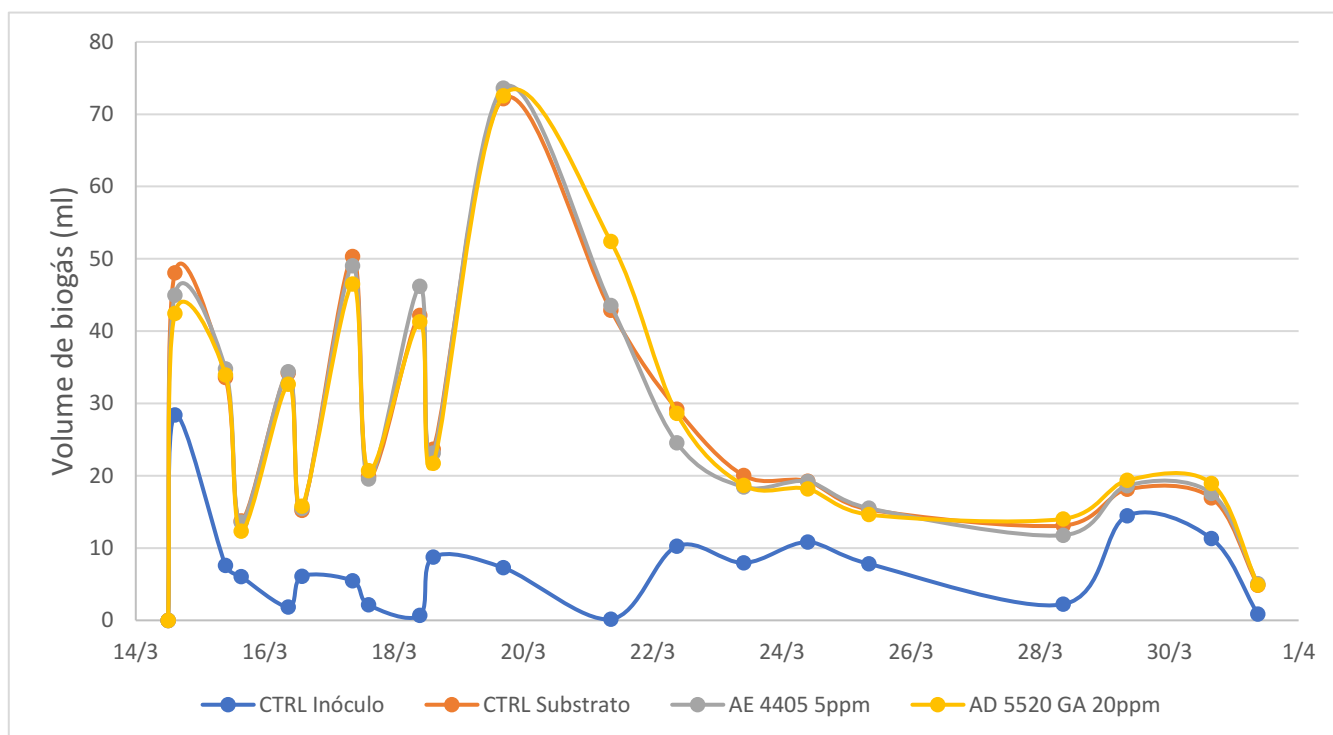


Vimos que o “r” de Pearson apresenta uma correlação forte, sendo o $r^2 = 0,9915$ o $r = 0,9957$, uma relação positiva entre a medição da automação e a apresentada pelo indicador de pressão. Para afirmar o nível de significância da correlação, utilizando um $\alpha = 0,05$, que representa um nível de significância de 5% sendo o valor p a diferença de $1 - r$. Assim temos $p = 0,00424 > \alpha$, concluindo a significância da correlação.

Dada essa análise, vemos que o equipamento é confiável, pois possui grande relação com os dados do indicador de pressão. Uma outra afirmação para a diferença dos dados medidos e coletados, é que o sistema do indicador e da coleta do Arduino são diferentes.

Confirmada a eficácia do equipamento, foi então implementada a Equação 6, citada na metodologia, para que o programa transcrevesse na planilha o valor da produção de biogás diretamente, o valor da pressão também foi definido para ser impresso para eventuais conferências. Dessa forma obteve-se os dados dos gráficos das Figuras 20 e 21 de produção diária e acumulada de biogás. São plotados nas Figuras os valores médios das triplicatas.

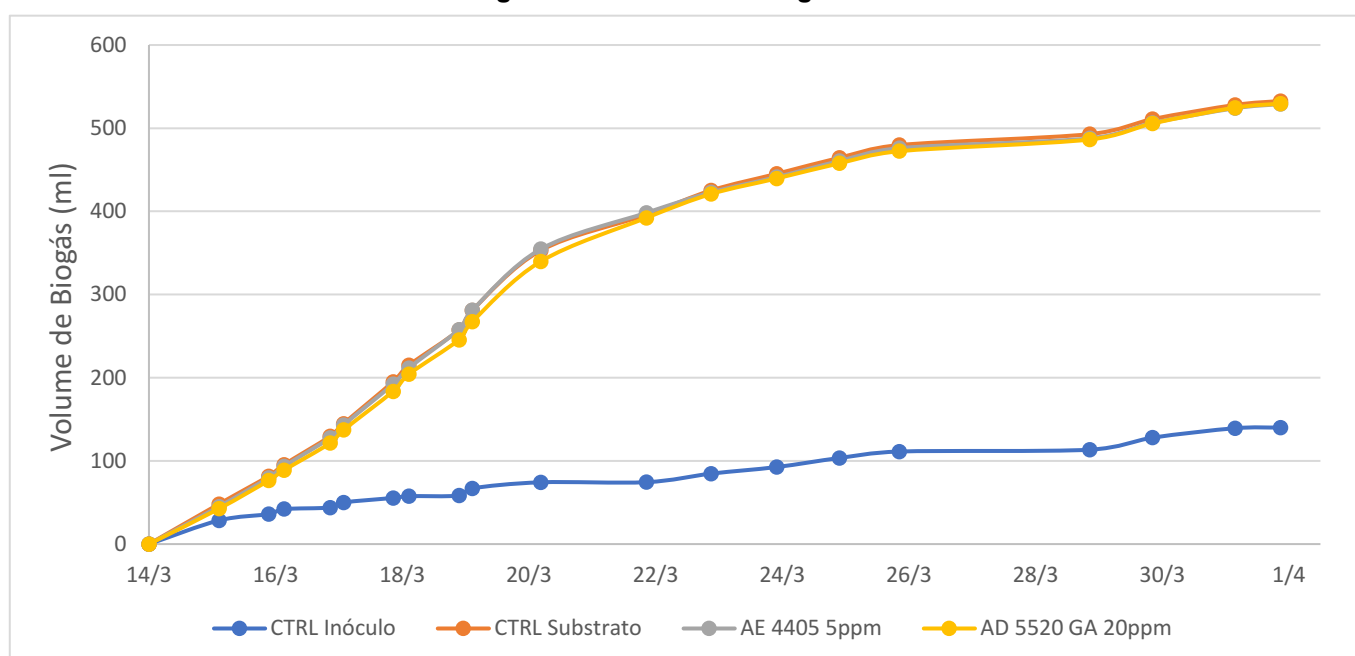
Figura 21 - Produção de biogás diária.



Além da medição diária para verificação do equipamento, também foram tomadas medidas em outros horários, principalmente nos 5 primeiros dias, os dados das figuras envolvem um tempo maior de análise que os dados da comparação, pois o BMP é um experimento que costuma durar em torno de 20 dias.

Sendo comprovada a eficiência do equipamento nos 7 primeiros dias, após isso, as medições foram tomadas diretamente com a automação desenvolvida, sem mais a necessidade de transcrever para um papel.

Figura 22 - Volume de biogás acumulado.



Outra comprovação que este trabalho propõe é a de aumento da velocidade de tomada de dados, com relação a otimização do tempo.

Foi implementado ao código o registro do instante de medição, demonstrado no Quadro 2, vale ressaltar que os dados apresentados se referem apenas as medições do primeiro e último dia.

Quadro 2- Demonstração da coleta de tempo, início e fim dos testes.

<i>Data e Hora</i>	<i>Amostra</i>	<i>Data e Hora</i>	<i>Amostra</i>
15/03/2021 9:31:12	CTRL Inóculo 1	22/03/2021 10:50:12	CTRL Inóculo 1
15/03/2021 9:31:29	CTRL Inóculo 2	22/03/2021 10:50:34	CTRL Inóculo 2
15/03/2021 9:31:38	CTRL Inóculo 3	22/03/2021 10:50:49	CTRL Inóculo 3
15/03/2021 9:32:04	CTRL Substrato 1	22/03/2021 10:51:16	CTRL Substrato 1
15/03/2021 9:32:21	CTRL Substrato 2	22/03/2021 10:51:34	CTRL Substrato 2
15/03/2021 9:32:30	CTRL Substrato 3	22/03/2021 10:51:43	CTRL Substrato 3
15/03/2021 9:32:56	AE 4405 5 ppm 1	22/03/2021 10:52:09	AE 4405 5 ppm 1
15/03/2021 9:33:13	AE 4405 5 ppm 2	22/03/2021 10:52:26	AE 4405 5 ppm 2
15/03/2021 9:33:22	AE 4405 5 ppm 3	22/03/2021 10:52:35	AE 4405 5 ppm 3
15/03/2021 9:33:48	AD 5520 GA 20 ppm 1	22/03/2021 10:53:00	AD 5520 GA 20 ppm 1
15/03/2021 9:34:05	AD 5520 GA 20 ppm 2	22/03/2021 10:53:18	AD 5520 GA 20 ppm 2
15/03/2021 9:34:13	AD 5520 GA 20 ppm 3	22/03/2021 10:53:26	AD 5520 GA 20 ppm 3
15/03/2021 0:03:01	Tempo total	22/03/2021 0:03:14	Tempo total

No método anterior os dados eram extraídos e transpostos para a planilha em aproximadamente 30 minutos, levando em conta que o agitador estivesse com as 12 amostras. Com a automação realizada esse tempo pôde ser reduzido para aproximadamente 3 minutos considerando uma operação ótima, praticamente 10% do tempo do tempo anterior. O tempo total de medição do BMP pode ser um pouco maior que esse tempo, pois é necessário um tempo para o processo de esvaziamento de gás das garrafas.

5 CONCLUSÃO

Com este trabalho, onde se realizou a implementação de um sistema capaz de armazenar e transcrever os dados obtidos no sistema de monitoramento do BMP, foi possível compreender o funcionamento e operação do sistema de medição utilizando uma solução eletrônica para conversão dos dados de leitura de pressão, utilizando da programação para estabelecer um código que realizasse a transposição dos dados do microcontrolador para a planilha das análises do ensaio.

Sendo os testes satisfatórios, optou-se por realizar montagem do sistema em um dispositivo de fácil manuseio, no caso na própria caixa do indicador de pressão.

O ensaio BMP (*Biochemical Methane Potential*) de onde foram extraídos os dados foi utilizado com sucesso para avaliação do desempenho do sistema desenvolvido, que comparado ao método anteriormente utilizado, não proporcionou erros significativos. Vale ressaltar, que o método desenvolvido no trabalho, proporciona não só a otimização de tempo na extração desses dados, mas também a confiabilidade dos dados, de forma que existe menos interferência humana no processo.

Por fim, foi de suma importância a elaboração do sistema de BMP como um todo, o qual já vinha sendo desenvolvido pela empresa para a determinação de potencial bioquímico de metano, possuindo um custo bastante inferior ao equipamento da Bioprocess, a integração da automação do método de coleta de dados, produzido por este trabalho, agrega valor a este desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- RIBEIRO JUNIOR, Elson Heraldo; PENTEADO, Rosangela de Fatima Stankowitz. **Modelo para formatação de trabalhos acadêmicos da UTFPR**. Ponta Grossa, 2011. (Apostila).
- BLEY JR., Cícero. **Biogás: A energia invisível**. 2. ed. rev. e aum. São Paulo e Foz do Iguaçu: Planeta sustentável, 2015. 231 p. Volume único. ISBN 978-85-67785-04-2. PDF.
- ABIOGAS. **Potencial de biogás no Brasil: Potencial em biogás padrão ANP**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-de-biogas-no-brasil/>. Acesso em: 7 mar. 2021.
- POSTEL, Jan et al. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. 5. ed. rev. e atual. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2010. 236 p.
- FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- BERMANN, Celio. **Energia no Brasil: Para que ? Para quem?**: Crises e Alternativas para um país sustentável. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003. 140 p. ISBN 8588325063.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. [S. l.]: Balanço Energético Nacional Interativo, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ENERGETICA>. Acesso em: 7 mar. 2021.
- JÚNIOR, Alvaro Mari *et al.* Vantagens e desvantagens da energia hidráulica. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 20-28, 2013. DOI 10.48075/actaiguazu.v2i4.8941. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/8941/6554>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- ANEEL, AID. Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019. **Agência Nacional de Energia Elétrica / Sala de Imprensa**, [S. l.], p. 20-28, 10 jan. 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false#:~:text=A%20atua%C3%A7%C3%A3o%20da%20Ag%C3%A2ncia%20Nacional,a%20meta%20de%205.781%20MW. Acesso em: 14 mar. 2021.

ABIOGAS. **Potencial de biogás no Brasil**: Potencial em biogás padrão ANP. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-de-biogas-no-brasil/>. Acesso em: 7 mar. 2021.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 002/2010 – **Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, abril de 2020. Disponível em: <https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>. Acesso em: 7 mar.2021.

AMARAL, André Cestonaro; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. OS BIODIGESTORES. *In*: FUNDAMENTOS da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia, SC: Sbera Embrapa Suínos e Aves, 2019. v. 1, cap. 3, p. 41-68. ISBN 978-85-93823-01-5

POSTEL, Jan et al. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. 5. ed. rev. e atual. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2010. 236 p.

BLEY JR., Cícero. **Biogás**: A energia invisível.. 2. ed. rev. e aum. São Paulo e Foz do Iguaçu: Planeta sustentável, 2015. 231 p. Volume único. ISBN 978-85-67785-04-2. PDF.

BIOPROCESS, . **AMPTS® II**: Analytical tool preferred by scientists for biogas research. 2019. Disponível em: https://bioprocesscontrol.com/bpc_products/automatic-methane-potential-test-system/. Acesso em: 22 mar. 2021.

SILVA, Thayná Habeck *et al.* Determinação do potencial de metano de cama de frango através de ensaio BMP (Biochemical Methane Potential). **Revista GEAMA** , Recife, v. 5, p. 10-19, 30 ago. 2019. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2691>. Acesso em: 23 fev. 2021.

FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

IVANOVA, L.K., RICHARDS, D.J., SMALLMAN, D.J. The long-term settlement of landfill waste. Waste and Resource Management. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. p. 121-133, 2008

HALLIDAY, D. E RESNICK, R. – “Fundamentos de Física ” – vol.2, 9ª edição. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2012.

VELKI, Instrumentos de medição e controle. Transmissor de Pressão Mini IP65. **Catálogo de Especificações técnicas VELKI**. Itu, 2020. p 01. Disponível em: velki-manual-vkp011-transmissor-de-pessao-mini-ip65_A4. Acesso em: 28 de março de 2021.

ARDUINO. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 28 de março de 2021.

PARALLAX. **PLX-DAQ**. Disponível em: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>. Acesso em 11 de abril de 2021.

NOVUS. **Indicador de temperatura - manual de operação v3.1x**. Disponível em: <https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/5001162%20v31x%20-%20manual%20n480i%20-%20portuguese.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2021.

Interpretar os principais resultados para Correlação. Acesso em 10 de agosto de 2021. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/interpret-the-results/key-results/>