



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

MATHEUS DE OLIVEIRA SÉRVULO

**CONTROLADOR DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS INTERLIGADO À
INTERNET**

ARAXÁ/MG

2019

MATHEUS DE OLIVEIRA SÉRVULO

**CONTROLADOR DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS INTERLIGADO À
INTERNET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura

ARAXÁ/MG

2019



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL / ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL do aluno *Matheus de Oliveira Sérvulo*

Às 16h do dia 04 de julho de 2019, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG/ Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "**Controlador de Produção de Biogás interligado à Internet**" como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, *Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura*, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado: *Aprovado*
com nota final de: *86,3/100 (OITENTA E SEIS VÍRGULARES)* pontos).

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar a violar direitos de terceiros.

Matheus de Oliveira Sérvulo *Matheus de Oliveira Sérvulo* Araxá, 04 de julho de 2019.
Nome do aluno Assinatura Local e data

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 04 de julho de 2019.

Kleber Lopes Fontoura
Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura
Orientador

Henrique José Avelar
Prof. Dr. Henrique José Avelar
Avaliador

Frederico Duarte Fagundes
Prof. Me. Frederico Duarte Fagundes
Avaliador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio objetivo que forneceu as condições necessárias à minha formação ao longo de todos esses anos e à minha amiga lara beatriz pelo apoio psicológico, moral e estratégico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos da minha família que me apoiaram no decorrer do desenvolvimento do trabalho e ao longo do curso de Engenharia de Automação Industrial, tornando possível a retenção de conhecimento necessária para a confecção desse projeto.

Agradeço ao meu professor orientador Kleber Lopes Fontoura, por viabilizar o desenvolvimento deste projeto por meio da orientação e ao professor Domingos Sávio Resende por contribuir para que se chegasse a esta versão final do trabalho.

A minha amiga Lara Beatriz que durante o processo de aprendizagem, por meio de apoio moral e psicológico ajudou na manutenção do foco nos objetivos.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais retorna ao seu tamanho original.”

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

O aumento progressivo da geração de resíduos no mundo moderno, causado pelo aumento da população e do consumo, leva a buscar ferramentas que auxiliem encontrar soluções para a redução e gestão destes. A biomassa transforma esses resíduos orgânicos em dois subprodutos: o biogás, potencial gerador de energia; e o biofertilizante que pode ser utilizado na agricultura, e, então, contribuir para a redução dos mesmos. O objetivo deste trabalho foi criar um sistema de controle da produção de biomassa via aplicativo. Para isso foi utilizado um sistema embarcado conectado à internet que recebe os dados dos sensores de temperatura e metano, controla por meio do PID (Proporcional Integral e Derivativo) essa temperatura e transmite via internet os dados para um aplicativo desenvolvido. A ferramenta que se criou, possibilita o estudo mais detalhado das características da geração da biomassa, gerando dados da etapa atual do processo e o momento quando se inicia a produção do biogás, além de criar um ambiente interativo que facilita a manipulação do processo.

Palavras-chave: Biomassa, Controle Remoto, PID

ABSTRACT

The progressive increase of the generation of waste in the modern world, caused by the increase of the population and increase of the consumption, leads to the search for tools that help to find solutions for the reduction and management of these. Biomass transforms these organic wastes into two by-products, the biogas that can generate energy and the biofertilizer that can be used in agriculture, can then contribute to their reduction. The objective of this work was to create a control system for biomass production via application. For this, an embedded system connected to the Internet was used, which receives the data from the temperature and methane sensors. It controls the PID (Proportional Integral and Derivative) temperature and sends the data via internet to a developed application. The tool that was created enables a more detailed study of the characteristics of the biomass generation, generating data of the current stage of the process and when the biogas generation starts, in addition to creating an interactive environment that facilitates the manipulation of the process.

Keywords: Biomass, Remote Control, PID

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Perfil do rendimento da digestão anaeróbia em função da temperatura	20
Figura 2: Diagrama do processo PID	22
Figura 3: Fluxograma da função "Conexao()"	27
Figura 4: Fluxograma da função Firebase()	29
Figura 5: Fluxograma do envio de dados função: set.Firebase()	29
Figura 6: Fluxograma de Recepção de dados função Get.Firebase()	30
Figura 7: Algoritmo de Simulação em ESP32	31
Figura 8: Cabeçalho do Aplicativo	31
Figura 9: Estruturas do Cabeçalho	32
Figura 10: Tela "Power"	32
Figura 11: Tela de Erro de Senha Vazia	33
Figura 12: Tela de Erro de Usuário Vazio	33
Figura 13: Tela de Erro de Usuário e Senha Vazios	33
Figura 14: Tela de Erro da Verificação Visual	34
Figura 15: Tela "Stop"	35
Figura 16: Tela de Mensagem de erro de senha	35
Figura 17: Página Principal	36
Figura 18: Estruturas da Página Principal	37
Figura 19: Etapas da Biodigestão	37
Figura 20: Tela de Alarmes	38
Figura 21: Cabeçalho com pH desatualizado	38
Figura 22: Estrutura de pH desatualizada	38
Figura 23: Estrutura de pH atualizado	38
Figura 24: Tela de Confirmação de Correção do pH	39
Figura 25: Erro de senha ou pH inválido	39
Figura 26: Esquema do Projeto Físico	40
Figura 27: Caixa de Isolamento	41
Figura 28: Caixa com as Lâmpadas e o PT100	41
Figura 29: Diagrama Eletrônico do Dispositivo de Controle de Temperatura	42
Figura 30: Gráfico de Comportamento do pino DC e da Tensão de Corrente Alternada	43

Figura 31: Fluxograma da Função Potencia()	44
Figura 32: Fluxograma da função Temperatura()	45
Figura 33: Diagrama Eletrônico do Dispositivo de Tráfego de Dados	47
Figura 34: Fluxograma da função Detecta()	48
Figura 35: Fluxograma: Produção de Metano e Temperatura do ESP32 para o Firebase	49
Figura 36: Algoritmo de Balanceamento PID	50
Figura 37: Excel com os dados do PID	50
Figura 38: Diagrama de Calibragem do PT100	51
Figura 39: Função de Calibração - Calibracao()	52
Figura 40: Conversor PT100 com destaque aos reguladores P1 e P2	52
Figura 41: Característica da Página Principal na fase Hidrólise e Acetogênese.	54
Figura 42: Característica da Página Principal na fase Acetogênese	54
Figura 43: Característica da Página Principal na fase Metanogênese	55
Figura 44: Teste do Sensor MQ4	55
Figura 45: PT100 inserido em amostra de gelo e água	56
Figura 46: Tensão no Terminal do Arduino para PT100 submetido a 0°C	56
Figura 47: Multímetro com o PT100 em 0°C	57
Figura 48: PT100 inserido em amostra de 100°C	57
Figura 49: Tensão no Terminal com o PT100 submetido a 100°C	58
Figura 50: Multímetro com o PT100 submetido a 100°C	58
Figura 51: PT100 inserido em água em gelo fundente	59
Figura 52: Interface do Aplicativo na aproximação do PT100 a água com gelo	59
Figura 53: PT100 inserido em água de 100°C	60
Figura 54: Aplicativo para o PT100 aproximado de água de 100°C	60
Figura 55: Teste: $K_p = 2.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$	61
Figura 56: Teste: $K_p = 5.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$	61
Figura 57: Teste: $K_p = 8.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$	62
Figura 58: Teste: $K_p = 10.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$	62
Figura 59: Teste: $K_p = 25.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$	63
Figura 60: Teste: $K_p = 5,1$; $K_i = 3,1$; $K_d = 0$	63
Figura 61: Teste: $K_p = 5,1$; $K_i = 6,1$; $K_d = 0$	64

Figura 62: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial “Desligado”	64
Figura 63: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela "Power"	65
Figura 64: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial “Ligado” ..	65
Figura 65: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Equilíbrio de Temperatura	66
Figura 66: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela "Off"	66
Figura 67: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial após Desligamento	67

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Cotação da Lista de Componentes do Projeto	68
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
PID	Proporcional Integral Derivativo
pH	Potencial Hidrogeniônico
SP	Valor Desejado
PV	Variável de Processo
E	Erro
Kp	Ganho do Proporcional
ki	Ganho do Integrador
kd	Ganho do Derivativo
PI	Proporcional-Integrador
PD	Proporcional-Derivativo
P	Proporcional
IoT	Internet das Coisas
RTD	Termo Resistência
RFID	Identificação de Rádio Frequência
VCC	Polo Positivo da Tensão
ZC	Zero Cross
DIM	Sinal de Controle
GND	Polo Negativo da Tensão
PT100	Sensor de Temperatura
IN+	Entrada Positiva do PT100
IN-	Entrada Negativa do PT100
OUT+	Saída Positiva do Módulo PT100
OUT-	Saída Negativa do Módulo PT100
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IP	Número de Identificação de Rede

LISTA DE SÍMBOLOS

CH ₄	Fórmula do Metano
CO ₂	Gás Carbônico
A/D	Analógico-Digital
D/A	Digital-Analógico
SnO ₂	Dióxido de Estanho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	BIOMASSA	19
2.2	CONTROLE PID	21
2.2.1	Transformada de Laplace	23
2.2.2	Discretização	23
3	MATERIAIS	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	SIMULAÇÃO EM ESP32	27
4.1.1	Função de Conexão do ESP32 com a internet WiFi	27
4.1.2	Criação do projeto em Firebase	28
4.1.3	Função de conexão do ESP32 com o Firebase	28
4.1.4	Função de Envio de Dados set.Firebase()	29
4.1.5	Função de Recepção de Dados Get.Firebase()	30
4.1.6	Algoritmo de Simulação	30
4.2	APLICATIVO	31
4.2.1	Cabeçalho	31
4.2.2	Tela principal	36
4.2.3	Tela de alarmes	37
4.3	ESTRUTURA	39
4.4	DISPOSITIVOS	41
4.5	DISPOSITIVO DE CONTROLE DA TEMPERATURA	42
4.5.1	Diagrama Eletrônico	42
4.5.2	Função de Manipulação De Potência	43
4.5.3	Função de Temperatura	44
4.5.4	Função PID	45
4.5.5	Algoritmo Final	46
4.6	DISPOSITIVO DE TRÁFEGO DE DADOS	46
4.6.1	Diagrama Eletrônico	46
4.6.2	Função de Detecção de Gás	47
4.6.3	Função de Verificação Visual	48
4.6.4	Algoritmo Final	49

4.7	MÉTODO DE BALANCEAMENTO PID	49
4.8	MÉTODO DE CALIBRAGEM DO PT100.....	51
4.8.1	Diagrama	51
4.8.2	Função de Calibração.....	52
4.8.3	Etapas de Calibração.....	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1	FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO	53
5.2	TESTES DO SENSOR MQ4.....	55
5.3	CALIBRAGEM DO PT100.....	56
5.3.1	Teste de Calibragem do PT100 nos Dispositivos	59
5.4	BALANCEAMENTO PID.....	60
5.5	FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO	64
5.6	ANÁLISE DE CUSTO DO PROJETO	67
5.7	COMPARAÇÃO COM BIODIGESTORES COMERCIAIS.....	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um grande desafio para os países em desenvolvimento (Henry et al., 2006; Saikia e Nath, 2015). Do total de RSUs gerados em 2012 no Brasil, 51,4% eram matéria orgânica.

Uma forma de gerir essa matéria orgânica é por meio da biodigestão, que segundo Carlsson (2012, apud BORGNETH, 2018 p.2), é um processo bioquímico que, a partir da simbiose de bactérias anaeróbias, transforma a matéria orgânica complexa em dois subprodutos que são o biogás e o biofertilizante. O primeiro pode ser usado como combustão para cozimento de alimentos, produção de calor e de combustível veicular, e o biofertilizante pode ser usado na agricultura.

Essa condição de geração de energia é um fator importante. De acordo com SCHULTZ (2013), em 2011, do total de energia primária consumida, 92% foram representados por fontes não renováveis. A preocupação com a dependência dos combustíveis fósseis tem levado a maior diversificação das fontes de energia, como fontes renováveis e de baixo impacto ambiental (TOLMASQUIM, 2012).

Uma alternativa na questão energética é o biogás, pois é um combustível que tem como característica ser renovável e limpo. Ele é constituído em sua maior parte de uma mistura de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O potencial energético se dá em função da quantidade de metano contida nesse gás, que determina o seu poder calorífico. A proporção de cada gás depende de fatores como o tipo de digester e substrato utilizado (SALOMON, 2007).

O panorama mostra a relevância de estudos que envolvam o tratamento de matérias orgânicas e de seu aproveitamento para produção de energia, geração de fertilizantes, e a diminuição do impacto que ela causa no montante de resíduos sólidos coletados todo ano.

Nesse contexto, desenvolvemos um controlador de temperatura para biodigestores interligado à internet sem fio. Os objetivos foram criar um modo interativo de análise do processo e a otimização da biodigestão por meio do controle de temperatura.

O projeto contém dois dispositivos, de tráfego de dados e de controle de temperatura, criados em módulo eletrônico ESP32. Juntos, os dispositivos controlam a temperatura da caixa, conectam-se à internet e enviam informações de geração de metano e temperatura para um aplicativo. O aplicativo por sua vez, comanda a função

de ligar e desligar o processo, recebe os dados instantâneos, controla acesso e gera informações do estado atual do processo.

O texto foi dividido, além desta introdução, em quatro capítulos que são descritos a seguir:

No capítulo 2, abordou-se a fundamentação teórica; no tópico “Biomassa” são definidos os conceitos e os fatores imprescindíveis para o entendimento do processo e a confecção do projeto, em “Controle PID (Proporcional Integral Derivativo)” são mostradas as ferramentas matemáticas para se implementar o controle de temperatura em um sistema embarcado.

O capítulo 3 expõe os softwares e ferramentas utilizados no projeto.

O capítulo 4 se refere à metodologia, nele é mostrado como o trabalho foi desenvolvido. Primeiramente é mostrada a simulação em ESP32 e, em seguida, o desenvolvimento do aplicativo usando a simulação supracitada para validar as funcionalidades do mesmo e o desenvolvimento dos dispositivos e o controle PID.

O capítulo 5 apresenta os resultados do projeto, os testes que foram feitos para validar a lógica do aplicativo, os testes na calibragem dos sensores, o balanceamento dos ganhos no controle PID, montagem e funcionamento do dispositivo e uma análise de custos de projeto.

No capítulo 6 são feitas as considerações finais, as conclusões geradas a partir do projeto e as ideias para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOMASSA

Biomassa é como se denomina quaisquer materiais passíveis de decomposição pela ação de diferentes tipos de microrganismos, sendo possível a produção de biogás, desde que esteja sob condições específicas de temperatura, pH, oxigênio, nível de umidade e quantidade de bactérias por volume de biomassa.

Segundo CORTEZ (2008), a biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos, como resíduos urbanos, agrícolas e industriais.

Biodigestores são equipamentos onde são depositadas matérias orgânicas para fermentação anaeróbica. Após um determinado tempo de retenção ocorre um processo bioquímico denominado biodigestão anaeróbica, que tem como resultado a formação de produtos gasosos. (MAGALHÃES, 1986).

A biodigestão ocorre de modo aeróbico ou anaeróbico. A digestão anaeróbia, que foi a usada no processo, ocorre na ausência de oxigênio onde diferentes espécies de microrganismos interagem promovendo a transformação de compostos orgânicos complexos em metano, gás carbônico e outros compostos (CHERNICHARO, 1996). A vantagem da digestão anaeróbia sobre a aeróbia é a de demandar pequenas áreas e de ter construção simples. Permite a redução do potencial poluidor, e é capaz de fornecer os benefícios da energia e a produção de biofertilizante (CAMPOS, 2004).

Um dos fatores mais importantes na biodigestão é a temperatura. A atividade enzimática dos microrganismos anaeróbios dependem intimamente dela. Sendo fraca a 10°C e nula acima dos 65°C quando as enzimas são desativadas pelo calor. (CHERNICHARO, 1996).

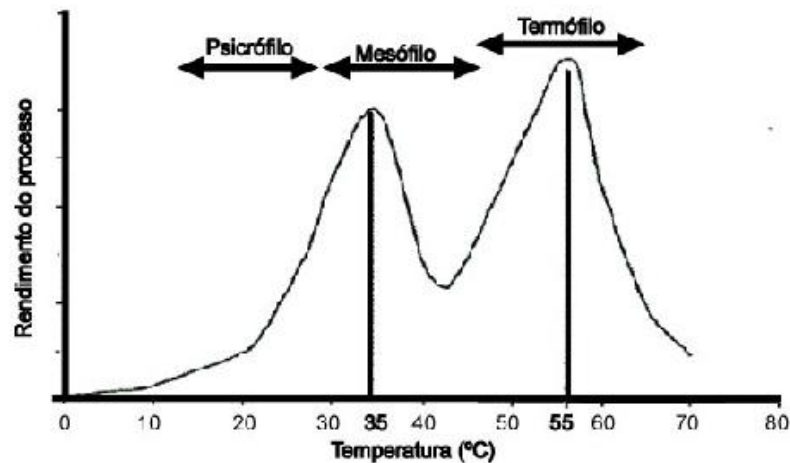
Como mostra REIS (2012, p.15) a temperatura como parâmetro influencia:

[...] nas taxas de reações enzimáticas e também na desnaturação destas enzimas ou na destruição das habilidades dos micro-organismos em produzir essas enzimas, dessa forma comprometendo a eficiência do processo de bioestabilização do material orgânico.

Segundo Metcalf & Eddy (1991) os micro-organismos são classificados em: psicrófilos, que sobrevivem numa faixa de 0 a 20°C; mesófilos (20 a 45°C) e termófilos (45 a 70°C).

De acordo com a Fig.1, o processo tem rendimentos diferentes de acordo com a temperatura. Na temperatura da faixa termófila (50°C a 60°C) o rendimento é maior que na mesófila (30°C a 40°C) que por sua vez apresenta rendimento maior que o psicrófilo (temperatura ambiente).

Figura 1: Perfil do rendimento da digestão anaeróbia em função da temperatura



Adaptado de Rodrigues, 2005.

A biodigestão é dividida em 4 fases. Na primeira etapa ocorre a hidrólise, onde os compostos orgânicos complexos são dissolvidos em substâncias mais simples (BOUALLAGUI et al, 2004). A segunda fase é o estágio denominado fase ácida, as bactérias consomem os compostos e os transforma em ácidos orgânicos. A terceira etapa é chamada de acetogênese, nesta, as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação de ácidos orgânicos em substrato para os micro-organismos metanogênicos. As bactérias acetogênicas e metanogênicas vivem em simbiose nessa etapa (CHERNICHARO, 1996). Na última etapa, a metanogênese: há a formação de metano que se dá condições anaeróbias estritas (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008). Essas etapas devem ser mantidas em equilíbrio dinâmico a fim de que a metanogênese ocorra à taxa máxima. O equilíbrio dessa etapa, depende da natureza do substrato e da disponibilidade de H_2 (Hidrogênio), sendo necessário que H_2 seja continuamente removido do meio para assegurar que a produção de ácido acético não seja interrompida ou diminua drasticamente.

As variáveis de acidez ocorrem na faixa de 5,2 a 6,3 nas fases de hidrólise e acidogênese e de 6.5 a 8 nas fases de acetogênese e metanogênese, sendo que pode haver precipitação dos íons metálicos caso o pH esteja abaixo do ponto crítico; e,

acima do pH crítico, a concentração de íons carbonato disponíveis é elevada, os metais pesados passam a ser precipitados aumentando a influência do pH (ARAÚJO, 2017).

2.2 CONTROLE PID

O PID é uma técnica de controle de processos que une as ações proporcional, derivativa e integral. A vantagem desse procedimento é não existir necessidade de se conhecer o modelo do sistema. O controle que foi implementado aproveitou os fatos proporcional e integral (PI) dessa técnica.

Três variáveis importantes para a compreensão do controle PID são o *setpoint*, a variável de processo (PV) e o erro (E). O SP se refere ao valor desejado configurado como objetivo do controle. A variável de processo (PV) é o valor real da variável que o sensor está detectando, e o erro E será a diferença do valor desejado pela variável de processo como visto na Equação 1:

$$E = SP - PV \quad \text{Equação 1}$$

O primeiro termo do controlador PID é o Proporcional (P). Este controlador consiste essencialmente num amplificador com ganho ajustável. Ele recebe o erro da Equação 1 e faz uma amplificação (K_p) desse sinal para que possa se adequar aos parâmetros da saída.

$$P = k_P \times E(t) \quad \text{Equação 2}$$

Uma característica importante das ações de controle proporcional, é a existência de um erro residual permanente sempre que ocorre uma alteração de carga. Quando k_P é aumentado, o erro estacionário é minimizado, apesar disso, o aumento deste parâmetro conduz a um aumento do tempo de estabelecimento e eventualmente pode tornar instável o sistema. (LOURENÇO, 1997).

Para se eliminar o erro estacionário é necessário, utilizar a componente integral. A integral, é a soma dos erros durante o tempo. A soma dos erros multiplicada por um ganho K_i vai ao longo do tempo aumentando a resposta do elemento final de controle, e eliminando o erro estacionário.

A Equação 3 da ação integral pode ser vista abaixo, sendo I o valor da Integral:

$$I = Ki \int E(t)dt \quad \text{Equação 3}$$

A ação integral exige que a proporcional se reduza, para que sejam combinadas numa ação PI (Proporcional-Integral). O PI é usado sempre que o controlador P (Proporcional) não for capaz de reduzir o erro estacionário a um nível aceitável. (LOURENÇO, 1997).

O derivativo, por sua vez, não é uma técnica de controle quando usada isoladamente. A ação derivativa consiste em resposta proporcional à velocidade de variação do desvio. A ação derivativa tem o efeito de reduzir a velocidade das variações da variável manipulada.

Na Equação 4 mostra-se o componente derivativo (D), sendo Kd a constante que amplifica a resposta do derivativo, $dE(t)/dt$ refere-se a derivada do erro.

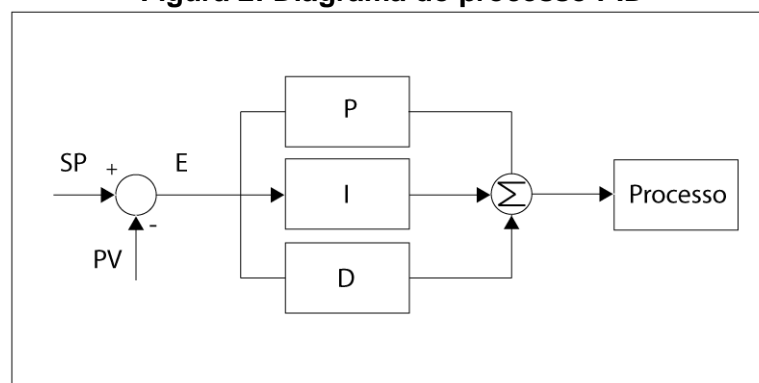
$$D = Kd \times dE(t)/dt \quad \text{Equação 4}$$

O derivativo é matematicamente, a derivada do erro (E) multiplicada por uma constante (Kd).

O derivativo só atua quando há variação no erro. Nas perturbações o derivativo sempre atua no sentido de atenuar as variações. (LOURENÇO, 1997).

O controle PID é a soma das respostas do proporcional, integral e derivativo, como pode ser visto no diagrama da Fig.2.

Figura 2: Diagrama do processo PID



Autoria Própria

A relação matemática do conceito PID segue a mesma regra das somas de cada termo do processo:

$$PID = P + I + D = kP \times E(t) + Ki \int E(t)dt + Kd \times \frac{dE(t)}{dt} \quad \text{Equação 5}$$

2.2.1 Transformada de Laplace

A transformada de Laplace permitirá que se obtenha a solução de uma equação diferencial ordinária de coeficientes constantes por meio da resolução de equação algébrica. (SILVA, 2005).

Tomando como base a Equação 5, o controlador PID na transformação de Laplace terá a característica da Equação 6.

$$PID = K_p E(s) + \frac{K_i}{s} E(s) + K_d \cdot s \cdot E(s) \quad \text{Equação 6}$$

E cada termo separado é representado por:

$$P = K_p E(s) \quad \text{Equação 7}$$

$$I = \frac{K_i}{s} E(s) \quad \text{Equação 8}$$

$$D = K_d \cdot s \cdot E(s) \quad \text{Equação 9}$$

2.2.2 Discretização

O último passo para se adequar a equação PID ao sistema embarcado é a discretização. Discretização é o processo de conversão de sinais contínuos em sinais discretos.

Um sistema discreto pode ser modelado por equações discretas ou de diferenças ou pelas funções de transferência expressas em Transformada Z. As aproximações que normalmente são usadas para esse processo são de Backward, Forward e Tustin.

A discretização pelo método de Tustin é definida pela Equação 10.

$$S = \frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) \quad \text{Equação 10}$$

Aplicando-se o método de Tustin na Integral (Equação 11), as equações tornam-se:

$$I = \left(K_i * \frac{T}{2} \right) * (e(t) + e(t - 1)) \quad \text{Equação 11}$$

A discretização pelo método Backward é definida na Equação 12.

$$S = \frac{1-z^{-1}}{T} \quad \text{Equação 12}$$

Aplicando a equação 11 na Derivada (Equação 9), esta passa a ser representada pela equação 13:

$$D = \left(\frac{K_d}{T} * (e(t) - e(t - 1)) \right) \quad \text{Equação 13}$$

As equações 11 e 13 têm um perfil estritamente algébrico, sendo possível usá-las em um sistema embarcado. O erro é dividido em atual ($e(t)$) e anterior ($e(t-1)$), o período de amostragem (T) é definido pelo período entre atuações do PID.

3 MATERIAIS

Os materiais usados no trabalho foram os softwares para a programação e os instrumentos para a confecção do dispositivo.

O softwares foram escolhidos de modo a atender a programação do sistema embarcado, a construção do aplicativo e a obtenção dos parâmetros de controle PID.

Na programação do sistema embarcado, foi utilizado a IDE do Arduino 1.8.9 e as bibliotecas WiFi.h e firebaseESP32.h. O Arduino IDE é uma programação baseada na linguagem C. (LOUIS, 2016).

A construção do aplicativo foi construída por meio do Android Studio 3.4, o Firebase é a infraestrutura de aplicativos que foi usada com o seu banco de dados *Realtime Database* que serviu como ponte para a manipulação, envio e recebimento de dados a partir do aplicativo no sistema embarcado.

O Office Excel 2013 foi utilizado para a recepção dos testes de parâmetros PID para posterior análise.

No tocante a instrumentação, o sistema embarcado escolhido foi o módulo ESP32 NodeMCU. O ESP32 é um dispositivo desenvolvido pela Expressif Systems para utilização em IoT (Internet das Coisas). É constituído por um microprocessador de dois núcleos com 32 bits Tensilica Xtensa e suporte tanto à rede Wi-Fi (802.11) e bluetooth versão 4.2, e com memória flash integrada (ESP32 Series Datasheet, 2019). O ESP32 foi escolhido pois fornece a conexão com a internet, essencial para a proposição.

Os sensores utilizados foram o de temperatura e de geração de metano. Para a medição de temperatura foram usadas a termorresistência PT100. As termorresistências são usadas nos processos industriais e laboratoriais, por suas condições de alta estabilidade, repetibilidade, resistência a contaminação, e menor influência de ruídos e altíssima precisão de temperatura (PT100SENSORES, 2019). A geração de metano é constatada a partir do sensor Mq4. O sensor Mq4 contém dióxido de estanho (SnO₂), que tem baixa condutividade no ar limpo. Quando o gás existe no ambiente, a condutividade do sensor é mais alta a medida que a concentração de gás aumenta (HWSensor, Datasheet, 2013).

Para o controle da temperatura foi usado um módulo *dimmer* para controle de potência. O módulo *dimmer* é uma placa capaz de realizar o controle da quantidade

de energia enviada a um equipamento. Ele possui um Triac BT-137 integrado, utilizado para chavear a corrente alternada.

A porta representada pela entrada *Zero Cross* manda um aviso para o Arduino de que a tensão está cruzando o zero. O arduino devolve o pulso para *Dimmer* por meio da porta DIM que fará o controle da potência (Usina Info).

O módulo *dimmer* tem quatro pinos de conexão com o dispositivo de controle, eles são o VCC (Polo Positivo da Tensão), ZC (Zero Cross), DIM (Sinal de Controle) e GND (Polo negativo da Tensão).

O módulo conversor PT100 tem a função de receber o valor da resistência variável do PT100 e transformar em tensão. Assim é possível enviar para uma entrada analógica do dispositivo de controle uma tensão proporcional a temperatura.

O módulo vem com 6 pinos com as seguintes funções: VCC e GND se referem à tensão, para essa placa 12V, necessária para que o módulo funcione; IN+ e IN- são as entradas que se conectam ao PT100; OUT+ e OUT- são as saídas que levam a informação em forma de tensão para o dispositivo de controle, sendo OUT- usado em GND e OUT+ no pino de entrada analógico configurado no dispositivo.

Foram ainda usados, três lâmpadas incandescentes de 100W, um isqueiro, três metros de cabos elétricos para a conexão das lâmpadas, fonte bivolt 12V/ 1A, um mini ventilador, dois metros de cabo flexível preto e vermelho do tipo 26 AWG (0,14mm) porta lâmpadas E-27 de cerâmica 4ª 1451-FP da Lorenzetti, cabo usb AM-Micro USB 2.0, duas caixas plásticas Sibratec 150x150x70, extensão de três metros e carregador Universal Boyu USB 15W 4 portas.

Todos os softwares e a instrumentação expostas pretendem viabilizar, portanto, do ponto de vista mecânico e eletroeletrônico a construção do controlador de produção de biogás interligado à internet.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta as etapas de construção do controlador de produção de biogás conectado à internet. Na primeira subseção se faz o desenvolvimento da simulação do processo em ESP32 e, em seguida, a simulação serviu como base para a construção e validação da lógica do aplicativo. A estrutura é descrita na subseção 4.3 e posteriormente são apresentados os diagramas e fluxogramas dos dispositivos de controle e tráfego de dados. Ainda são apresentados os métodos de balanceamento PID, calibragem do PT100 e análise de funcionalidade.

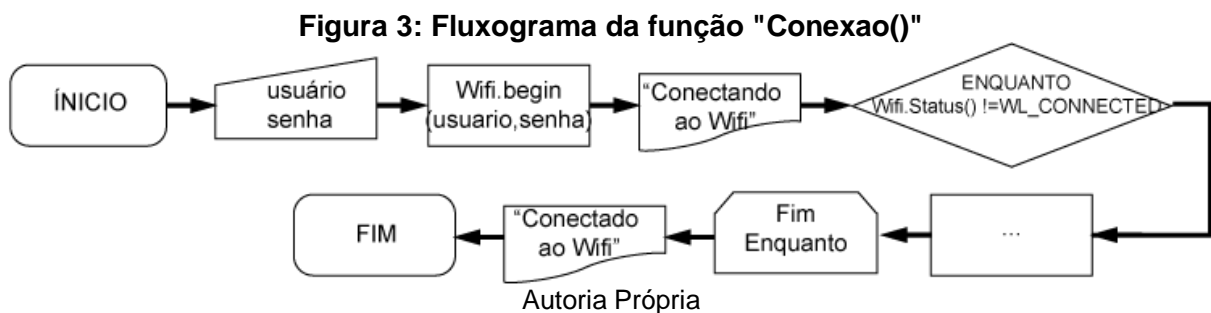
4.1 SIMULAÇÃO EM ESP32

Esta subseção apresenta o algoritmo de simulação da ferramenta proposta em ESP32 necessária para o desenvolvimento do aplicativo.

Esse algoritmo buscou gerar parâmetros para o fluxo de dados do ESP32 com o Firebase. Para esse fim foram implementadas quatro funções: conectar à internet sem fio (WiFi) (Conexao()); conectar com o Firebase (Firebase()); enviar dados do ESP32 ao Firebase (set.Firebase); e receber dados do ESP32 pelo Firebase (get.Firebase).

4.1.1 Função de Conexão do ESP32 com a internet WiFi

A função "Conexao()" (Fig.3) foi desenvolvida para conectar o ESP32 à internet, primeiramente adicionou-se a biblioteca WiFi.h e definiu-se duas variáveis do tipo cadeia de caracteres (*string*) para usuário e senha.



A rotina de inicialização: `void setup()` foi iniciada com a serial em velocidade de 115200b/s e o WiFi com usuário e senha definidas anteriormente, imprimiu-se na tela do terminal “Conectando ao WiFi”; enquanto `WiFi.status()` fosse diferente de `WL_CONNECTED`, em um período de 300ms, iam sendo adicionados pontos finais para que se mostrasse que o processo de conexão estava em desenvolvimento; quando finalmente conecta, é saltada uma linha e mostrada na tela do terminal a mensagem “Conectado ao IP: “ e o endereço do IP correspondente à conexão.

4.1.2 Criação do projeto em Firebase

O Firebase foi conectado por meio de uma conta google,

- Acessou-se o site `console.firebase.google.com` e por meio de usuário e senha Google, acessou-se a ferramenta;
- Adicionou-se novo projeto com nome de biomassa;
- Em Database foi criado um novo banco de dados do tipo teste;
- Acessou-se o *RealTimeDatabase*, em dados, copiou-se o *host* (link) que posteriormente foi usado na configuração do ESP32;
- Em “Projeto Overview”, “Configurações do Projeto”, “Contas de Serviço”, acessou-se “Chaves secretas do banco de dados” e copiou-se a chave de segurança que posteriormente foi usada na configuração do ESP32.

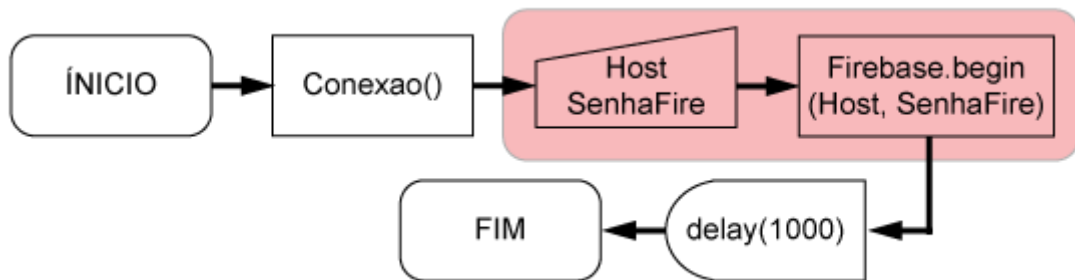
4.1.3 Função de conexão do ESP32 com o Firebase

A função `Firebase()` (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4), foi criada partir da função de conexão com a internet. O intuito desse algoritmo foi conectar o ESP32 ao console do Firebase.

Foi adicionada a biblioteca `FirebaseESP32.h`, criada duas variáveis (*Host* e *SenhaFire*) do tipo cadeia de caracteres (*string*) que receberam respectivamente o *Host* e a Chave secreta copiadas da etapa de criação do projeto em Firebase.

Na configuração foi incrementado o `Firebase.begin()` que inicia o protocolo de conexão com o Firebase com os argumentos *Host* e *SenhaFire*.

Figura 4: Fluxograma da função Firebase()



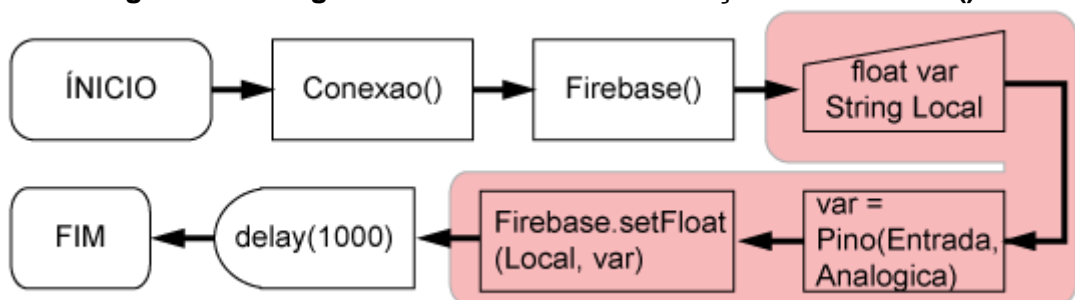
Autoria Própria

4.1.4 Função de Envio de Dados set.Firebase()

A função “set.Firebase()” foi criada com o objetivo de enviar dados do ESP32 ao Firebase. O envio necessita de dois parâmetros, o local (Local) do banco de dados onde será inserido e o valor (var) que se deseja enviar.

A Fig. 5 mostra que o envio de dados inicia na conexão com a internet, em seguida o console do Firebase é acessado, o local é definido e “var” é criada. A variável (var) recebe o valor do pino configurado com um sensor como entrada analógica. A sintaxe Firebase.setFloat usa os argumentos “Local” e “var” para enviar a mensagem ao Firebase, existe em seguida um delay de 1000ms e a função termina.

Figura 5: Fluxograma do envio de dados função: set.Firebase()



Autoria Própria

A resposta dessa função é que a cada segundo o Firebase é atualizado com o resultado instantâneo do sensor configurado; essa função é aproveitada no dispositivo de tráfego de dados dessa forma, já na simulação, essa função foi usada enviando números aleatórios para a temperatura.

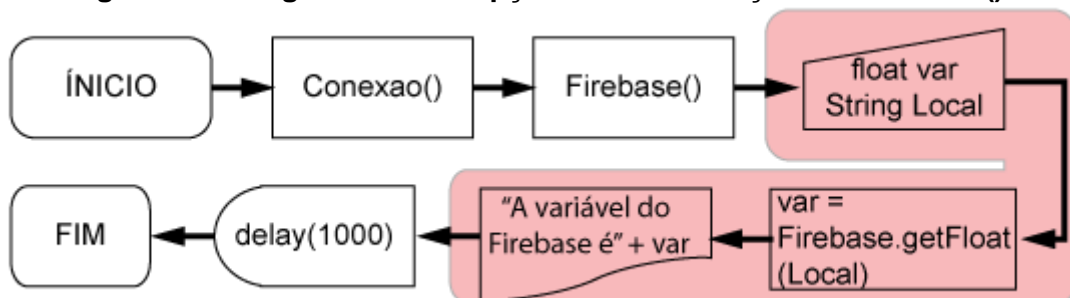
Uma característica interessante do Firebase é a sobreposição de dados. Quando um dado é enviado para o mesmo local onde foi inserido o dado anterior no banco de dados, aquele sobrepõe este. Essa característica garantiu que o volume de dados não se expandisse a cada ciclo. Para assegurar a organização e o controle de dados para a geração de informação usou-se os recursos de construção do aplicativo.

4.1.5 Função de Recepção de Dados Get.Firebase()

A função Get.Firebase foi produzida com o intuito de receber dados do Firebase no ESP32. Essa função precisa de uma variável do tipo decimal (*float*) para receber o valor e uma cadeia de caracteres (*string*) onde se define o local onde serão capturados os dados.

A Fig. 6 mostra que o recebimento de dados inicia na conexão com a internet, em seguida se tem o acesso ao console do Firebase, a variável do tipo decimal (*var*) e a cadeia de caracteres (*Local*) são definidas. A variável *var* recebe do Firebase pela sintaxe `Firestore.getFloat` configurada com o parâmetro “Local” o valor que está inserido neste caminho.

Figura 6: Fluxograma de Recepção de dados função Get.Firebase()

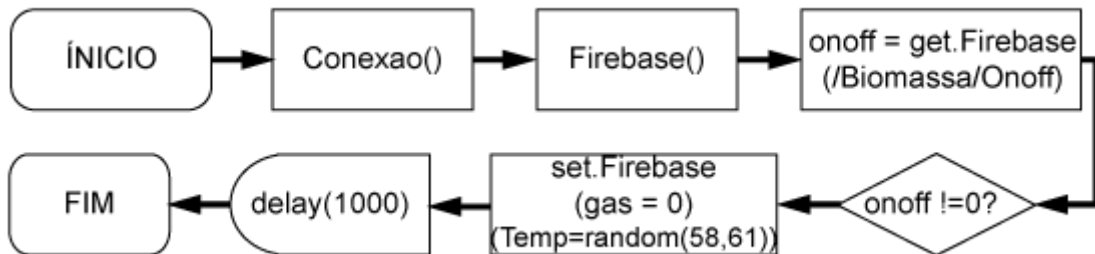


Autoria Própria

4.1.6 Algoritmo de Simulação

O algoritmo de simulação visou criar 4 variáveis: “On-off” do tipo inteiro, “temperatura” do tipo decimal (*float*), “gas” do tipo decimal (*float*) e “tempo” do tipo “*unsigned long*”.

Figura 7: Algoritmo de Simulação em ESP32



Autoria Própria

A variável “Temperatura” se refere à medição de temperatura, e já a variável “gas” se refere a produção de metano do processo. Essas são variáveis obtidas por sensores e precisam ser enviadas ao Firebase para que haja o monitoramento. Para efeitos de simulação para a “temperatura” foram gerados valores aleatórios atualizados a cada ciclo e em “gas” foi usada uma variável nula, visto que o processo começa a gerar energia após vários dias.

A variável “tempo” foi criada para o usuário ter controle do tempo decorrido do processo, além disso, esta vai ser importante na geração de informação via aplicativo.

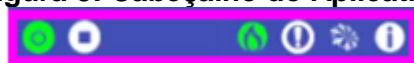
“On-off” funciona como um botão “liga e desliga” remoto, ou seja, uma variável controlada via aplicativo a partir do *Firebase*, quando *OnOff* é igual a zero (0) as funções de envio de dados ficam desativadas e quando *OnOff* é igual a um (1), *Firebase* passa a receber os dados de temperatura, gás e tempo do ESP32.

4.2 APLICATIVO

4.2.1 Cabeçalho

O cabeçalho (Fig. 8) está presente em todas as telas do aplicativo, contendo as estruturas (Fig. 9) “power”, “stop”, “página principal”, “alarme”, “pet” e “informações de uso”.

Figura 8: Cabeçalho do Aplicativo



Autoria Própria

Figura 9: Estruturas do Cabeçalho



Autoria Própria

4.2.1.1 Função “power”

A função “power” do cabeçalho tem a função de ligar o processo. Quando o usuário acessa o aplicativo, é feita uma atualização dos dados na página inicial. Se o processo estiver desligado, o ícone “Power” estará branco e acionável, caso o processo estiver ligado, o mesmo estará verde e inacessível.

Ao acionar o “Power”, o usuário é direcionado para a tela correspondente à Fig.10.

Figura 10: Tela "Power"

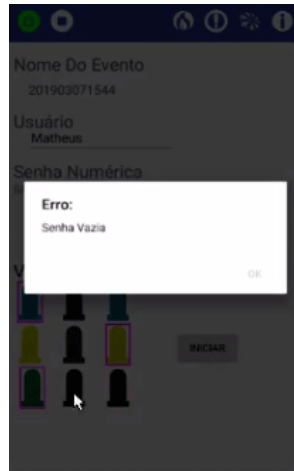


Autoria Própria

Nesta página, o usuário recebe o nome automático do evento do tipo “anomêsdiahora” que está sendo criado, e precisa digitar o nome do usuário e a senha, caso o usuário deixe um desses campos vazios, o sistema retorna que é

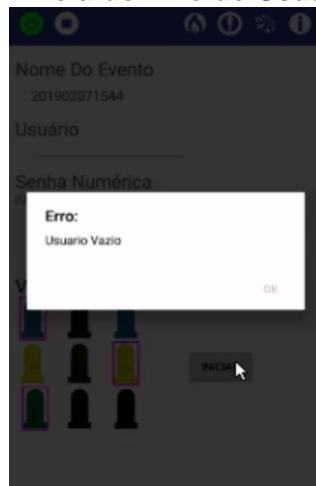
necessário completar o campo correspondente como pode ser visto na Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13.

Figura 11: Tela de Erro de Senha Vazia



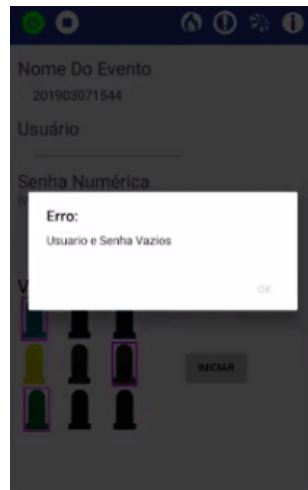
Autoria Própria

Figura 12: Tela de Erro de Usuário Vazio



Autoria Própria

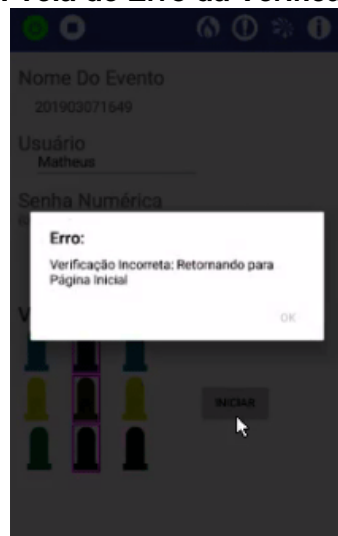
Figura 13: Tela de Erro de Usuário e Senha Vazios



Autoria Própria

Existe ainda, uma estrutura de verificação visual, como visto na Fig. 14 feita com *leds*. A caixa contém led azul, amarelo e verde, o usuário precisa conferir se cada *led* está ligado, desligado ou piscando e completar no aplicativo com a visão correspondente. Esse sistema contém vinte e sete possibilidades, e se o usuário erra a verificação, além de receber uma mensagem de erro, é redirecionado para a página inicial, obrigando o mesmo a gerar uma nova combinação.

Figura 14: Tela de Erro da Verificação Visual



Autoria Própria

Essa estrutura é importante para evitar que o usuário ligue o sistema sem ter contato visual com o mesmo.

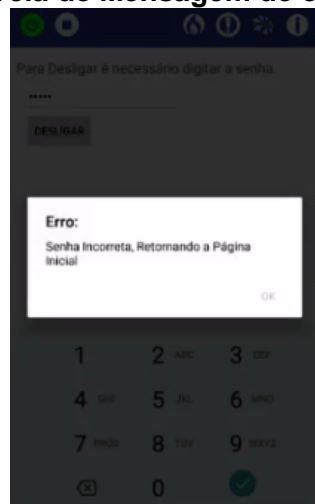
4.2.1.2 Função “Stop”

Ao clicar no ícone “*Stop*” o usuário é direcionado para a página correspondente da **Erro! Fonte de referência não encontrada**.¹⁵ que contém uma caixa de texto onde deve ser colocada a senha que foi inserida na função “*power*”.

Figura 15: Tela "Stop"

Autoria Própria

Se o usuário acertar a senha, o evento é desligado e redirecionado à página inicial. Se o usuário errar a senha, recebe uma mensagem dizendo que o usuário errou a senha (Fig. 16), e posteriormente redirecionado a página inicial.

Figura 16: Tela de Mensagem de erro de senha

Autoria Própria

Considerando que o processo de biomassa é demorado, sendo calculado em dias, é justificável o uso de senha para o controle do desligamento do processo. Essa medida é necessária para garantir que a sessão foi encerrada pela pessoa que começou, ou por alguém a quem foi cedida a senha de acesso, evitando assim, que haja o uso errado ou de má fé do aplicativo por terceiro.

4.2.1.3 Outros Elementos do Cabeçalho

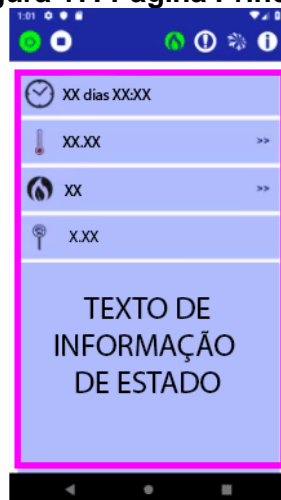
Ao clicar na “Tela Principal” o usuário é encaminhado para a página inicial, quando se clica em “Alarme”, o usuário é direcionado para uma página contendo os alarmes do processo. Em “PET” é possível visualizar um descritivo do PET CEFET Araxá de Automação, em “Sobre o Processo” o usuário é encaminhado para a página que descreve a forma correta de operar o processo.

4.2.2 Tela principal

A tela principal do aplicativo contém dados de tempo decorrido do evento, temperatura em tempo real, biogás gerado no dia atual, pH atual e uma estrutura de texto dinâmico que retorna a situação do processo (etapa atual).

A Fig. 17 mostra os elementos recebidos pelo Firebase e mostrados na tela. Ao tempo decorrido foi atribuído um ícone representativo do mesmo e um elemento de texto que recebe uma *string* do tipo “XX dias XX:XX”, para a temperatura tem um ícone representativo de um termômetro e um elemento de texto do tipo *float* de número decimal com duas casas decimais “XX.XX”, no biogás gerado tem-se um ícone representativo e um elemento de texto do tipo decimal (*float*) que recebe os dados relativos ao sensor de gás MQ4 do tipo XX, o pH recebe um decimal (*float*) de duas casas decimais do tipo “X.XX” e para o texto de informação de estado distingue e informa qual o estado do sistema, se em hidrólise, metanogênese, acetogênese e acidogênese.

Figura 17: Página Principal



Autoria Própria

Figura 18: Estruturas da Página Principal

Autoria Própria

As etapas da biodigestão (hidrólise, fase ácida ou acidogênese, acetogênese e metanogênese) são detectáveis usando o tempo decorrido, o valor do pH e a geração do biogás.

Para se estimar a passagem da hidrólise para a fase ácida, foi usado o tempo decorrido, pois como visto na Fig. 19, o pH (5,2 a 6,3) destas e o biogás gerado (0) são idênticos. A passagem da fase ácida, a acetogênese, foi feita a partir da mudança na faixa do pH e a passagem da acetogênese para a metanogênese é distinguida levando-se em consideração o início da produção de metano.

Figura 19: Etapas da Biodigestão

	ETAPAS DA BIODIGESTÃO	
	FAIXA DO pH	PRODUÇÃO DE BIOGÁS
HIDRÓLISE	5,2 à 6,3	0
FÁSE ÁCIDA	5,2 à 6,3	0
ACETOGÊNESE	6,5 à 8	0
METANOGÊNESE	6,5 à 8	>0

Autoria Própria

4.2.3 Tela de alarmes

A “tela de alarmes”(Fig. 20) auxilia o processo a atualizar o valor do pH.

Figura 20: Tela de Alarmes

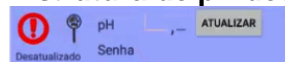
Autoria Própria

O pH é a única variável do sistema que recebe dados manualmente, quando está desatualizado o ícone de alarme fica vermelho como pode ser visto na Fig. 21.

Figura 21: Cabeçalho com pH desatualizado

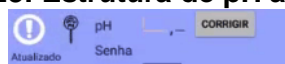
Autoria Própria

Quando o ícone fica vermelho, o usuário precisa fazer a aferição do pH no sistema e inserir manualmente no aplicativo. Essa ação necessita da Senha do usuário, a “tela de alarmes” apresenta a característica da Fig. 22

Figura 22: Estrutura de pH desatualizada

Autoria Própria

Quando o usuário atualiza o pH no aplicativo, a estrutura do pH na “tela de alarmes” se apresenta como na Fig. 23, sendo, então, possível que o usuário faça agora a correção do pH, e não mais a atualização, novamente é necessário o uso de senha.

Figura 23: Estrutura de pH atualizado

Autoria Própria

Ao tentar fazer a correção, aparecerá na tela uma mensagem perguntando se o usuário deseja mesmo fazer a correção como na Fig. 24.

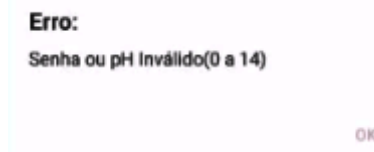
Figura 24: Tela de Confirmação de Correção do pH



Autoria Própria

Tanto ao tentar atualizar quanto ao tentar corrigir, caso o usuário digite a senha errada ou o pH esteja fora do padrão, ou seja menor que 0 ou maior que 14, a mensagem de erro da Fig. 25 vai surgir.

Figura 25: Erro de senha ou pH inválido

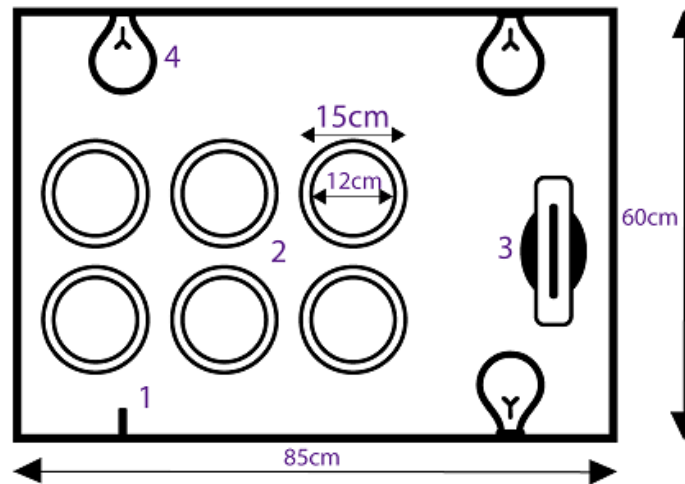


Autoria Própria

4.3 ESTRUTURA

O diagrama da estrutura é mostrado na Fig 26, e foi composto de uma caixa de 85 cm X 60 cm, a ponta do sensor PT100 (1), até 6 potes de 3L (2), ventilador (3) e 3 lâmpadas incandescentes (4).

Figura 26: Esquema do Projeto Físico



Autoria Própria

Os potes de 3L (2) são aproveitados de produtos de suplementos alimentares e servem para se colocar as amostras.

É necessário criar pelo menos duas amostras com o mesmo perfil de mistura para fazer o experimento, uma delas servirá como amostra do pH e a outra para a amostra do metano. A amostra do metano deve ficar sempre fechada, restritamente anaeróbica, a amostra de pH será aberta apenas para a verificação do pH. Esse processo garante que a geração de metano não seja comprometida e que a análise de pH seja feita sem maiores problemas, considerando que as amostras tem o mesmo perfil de mistura e estão submetidas a mesma temperatura é razoável que o pH de uma siga o mesmo comportamento da outra.

As lâmpadas incandescentes (4) são os elementos finais de controle.

O PT100 (1) é o sensor de temperatura, o ventilador (3) serviu como homogeneizador de temperatura já que dentro de um ambiente fechado sem ventilação poderia se existir pontos com temperaturas diferentes.

A caixa usada no projeto (Fig. 27) foi herdada da monografia “Automação de um processo de malteação”, defendida por Eduardo Henrique Lemos no primeiro semestre de 2017 no CEFET MG. A caixa tem a função de isolar a temperatura dentro do sistema e foi produzida com chapa prensada. O isolamento foi feito com uma camada de folha de isopor e a parte do fundo foi coberta com vinil branco, para proteger a madeira da umidade (LEMOS, 2017).

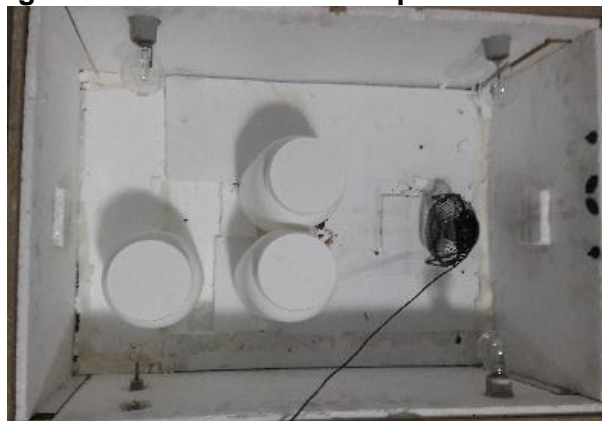
Figura 27: Caixa de Isolamento



Autoria Própria

A caixa foi instrumentalizada de acordo com o diagrama da Fig. 26. E sua representação final pode ser vista na Fig. 28.

Figura 28: Caixa com as Lâmpadas e o PT100



Autoria Própria

4.4 DISPOSITIVOS

As funções de controle PID e tráfego de dados foram divididas em dois dispositivos. Isso foi necessário, pois o envio e recebimento de dados via *Firebase* exige o uso de funções que atrapalham a performance do controle PID.

Desta forma, o dispositivo de controle PID ficou com a função de controlar a temperatura, enquanto o dispositivo de tráfego de dados faz a verificação visual e quando habilitado pelo comando liga-desliga envia os dados de temperatura e do sensor MQ4 de geração de metano.

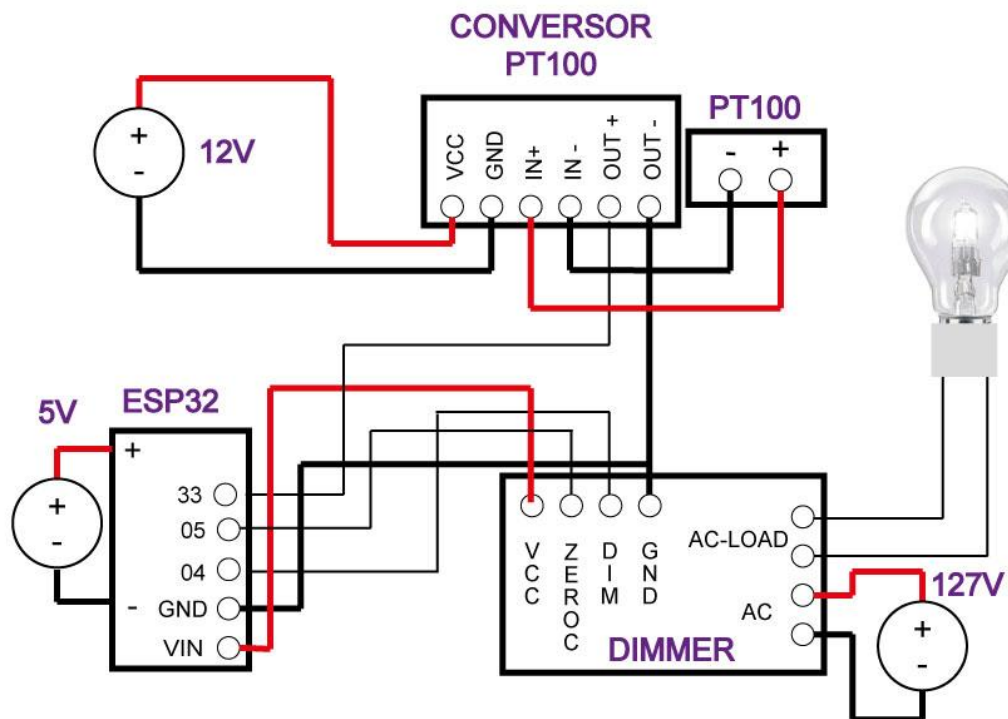
4.5 DISPOSITIVO DE CONTROLE DA TEMPERATURA

O dispositivo de controle de temperatura tem a função de controlar a temperatura na faixa mesófila.

4.5.1 Diagrama Eletrônico

O desenvolvimento eletrônico que visou fazer o controle de temperatura, continha além do ESP32, um módulo *Dimmer* com sinal de *Zero Cross* para fazer o controle da potência das lâmpadas incandescentes, para receber os valores de temperatura do PT100, foi usado o “módulo conversor PT100 para Arduino”. O diagrama eletrônico é representado na Fig. 29.

Figura 29: Diagrama Eletrônico do Dispositivo de Controle de Temperatura



Autoria Própria

O conversor PT100 recebe o sinal do PT100, que é uma resistência que varia de acordo com a temperatura e transforma em um sinal de tensão. O ESP32 recebe esse sinal em uma entrada analógica.

4.5.2 Função de Manipulação De Potência

A função de controle de potência buscou adequar o método de interrupção do módulo *dimmer* a uma resposta de potência percentual, ou seja, controlar o elemento final de controle com uma relação proporcional de 0 até 100% de acordo com a potência exigida.

O *zerocross* detecta a passagem da corrente alternada pela tensão 0V e envia ao ESP32 um sinal de nível alto.

A rede elétrica usada no projeto é de frequência (f) de 60Hz, o período (P) que é inversamente proporcional à frequência, fica então definido na Equação 15:

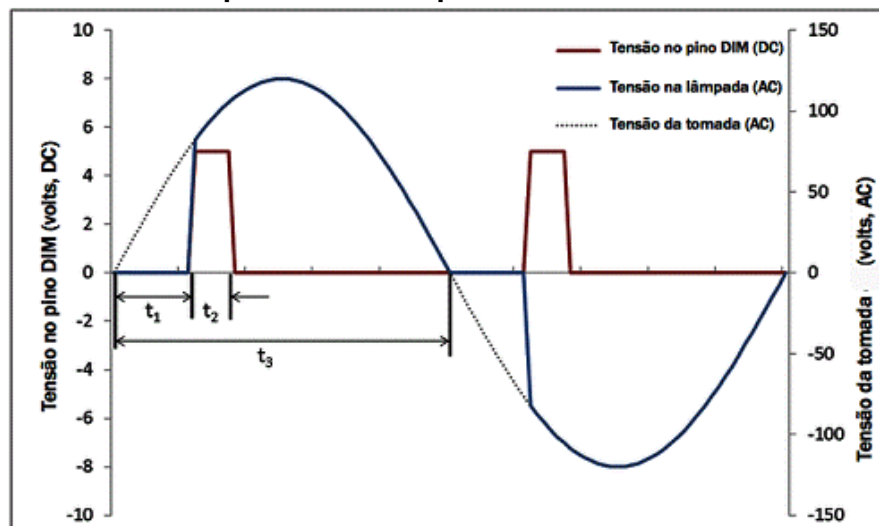
$$P = 1/f = 1/(60) = 0,01667 \quad \text{Equação 14}$$

A cada período, a tensão chega a zero em dois momentos. O tempo entre as interrupções então, será a metade do período encontrado.

$$T = P/2 = 0,01666/2 = 0,008333s = 8333us \quad \text{Equação 15}$$

Nesse curto espaço de tempo de 8333us, o controle de potência é feito pelo pino DIM, que recebe o valor do pino 4 do ESP32, mantendo-se um tempo em nível zero (0V) (t_1), como visto na Fig. 30, e um tempo curto em nível alto (3,3V) para que seja habilitada a passagem de energia (t_2), termina-se a interrupção e espera-se a próxima.

Figura 30: Gráfico de Comportamento do pino DC e da Tensão de Corrente Alternada



Fonte: Site: Usina Info (2018)

Na prática, a variável que se controla no módulo *dimmer* para que se consiga a resposta proporcional é o tempo desligado (t_1).

Desejou-se que a função Potencia() tivesse como característica a entrada do dado proporcional de 0 a 100% e que isso refletisse na mesma proporção na saída do elemento final de controle. Para isso, após definir-se uma variável P do tipo decimal (float) proporcional que tem valor de 0 a 100%, desse valor é extraído o tempo desligado percentual ($t1_perc$) como na Equação 17:

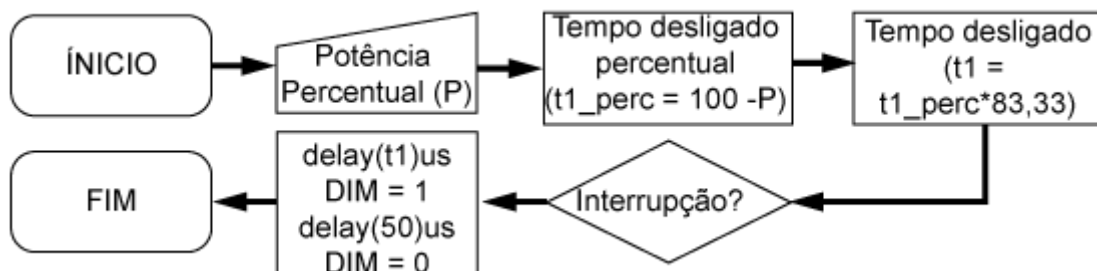
$$t1_perc = 100 - P \quad \text{Equação 16}$$

O tempo entre interrupções de 8333us é analogamente, os 100% da potência. Para se adequar os 100% aos 8333us se usa a equação:

$$t1 = t1_perc * 83,33 \quad \text{Equação 17}$$

Ou seja, quando a resposta for $P = 80$, $t1_perc = 20$ e $t1 = 1666,6us$ que corresponde a 20% de 8333us.

Figura 31: Fluxograma da Função Potencia()



Autoria Própria

4.5.3 Função de Temperatura

A função temperatura visou capturar o valor de tensão recebido na entrada analógica e transformá-lo no seu correspondente de temperatura.

O conversor PT100 recebe o sinal do PT100, que é uma resistência que varia de acordo com a temperatura e transforma em um sinal de 0 a 3,3V. O ESP32 recebe esse sinal na entrada 33 configurada como analógica com 10bits (0 a 1023) de

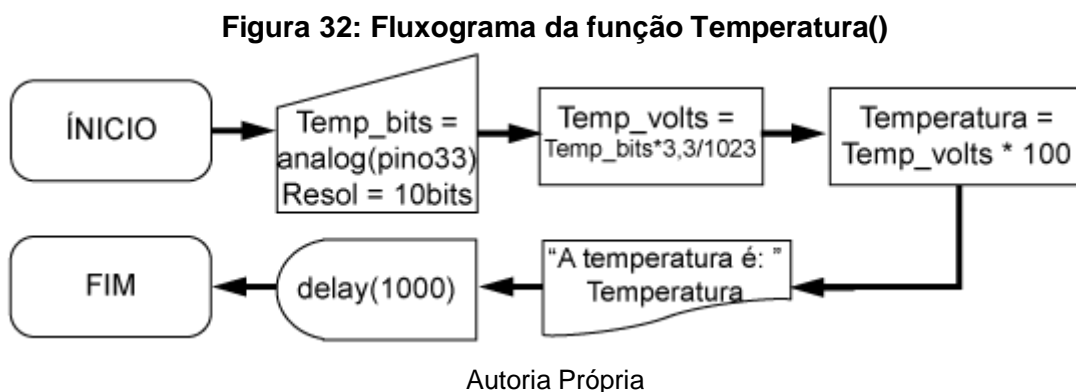
resolução. A resolução de 10bits representa 0V como 0 e 3,3V como 1023, para se corrigir o sinal para tensão foi usada a equação 18.

$$temp_{volts} = 3,3 * temp_bits / 1023 \quad \text{Equação 18}$$

A calibragem do PT100 foi de 0V = 0°C, 1V = 100°C, para que a saída representasse a temperatura real em volts foi multiplicada por cem como na equação 19.

$$Temperatura = temp_{volts} * 100 \quad \text{Equação 19}$$

O fluxograma da Fig. 32 mostra que assim que o valor é convertido em temperatura, é plotado no monitor da serial da IDE do Arduino, e feita uma suspensão no programa (*delay*) de 1000ms.



4.5.4 Função PID

A função PID foi feita partir das funções criadas em potência (Potencia ()) e temperatura (Temperatura ()).

O algoritmo configura inicialmente as seguintes variáveis: Valor desejado (SP) em 35°C que corresponde a temperatura mesófila do gráfico da Fig. 1, T é determinado em 8333us que é o tempo entre uma interrupção e outra, Kp, Ki e Kd são os elementos de balanceamento PID.

Quando ocorre a interrupção, o PV assume a temperatura obtida na função Temperatura () e o erro (e) é igual à diferença do valor desejado (SP) e o variável de processo (PV).

O PID é calculado em cada termo separadamente, de acordo com a equação 9.

O erro atual (e) é alocado em erro anterior (e_2) para ser usado na próxima interrupção.

O valor das variáveis I e PID são contidas. No caso da Integral (I), a variável acumula os seus valores anteriores, por isso ela deve ser contida na faixa de -40 e +40 para que a mesma não extrapole e atrapalhe o processo, já o PID precisa estar na faixa de 0 a 100 que corresponde à possibilidade de atuação percentual que será definida no período para a saída.

Finalmente o valor do PID é enviado para função Potência () que vai responder percentualmente de acordo com esse valor.

O ciclo continua a cada interrupção que tem um período de 8333us.

4.5.5 Algoritmo Final

O algoritmo do dispositivo de controle de temperatura foi feito, a partir das funções de Temperatura(), Potencia() e PID().

A temperatura é capturada do sensor PT100, o valor dela é comparado com o setpoint(35°C), faz-se então o cálculo do PID que vai controlar por meio da função potência a saída.

4.6 DISPOSITIVO DE TRÁFEGO DE DADOS

O dispositivo de tráfego de dados terá, desde que a função *onoff* esteja habilitada, duas funções: enviar ao *Firestore* os dados de temperatura e enviar ao *Firestore* os dados dos sensores MQ4.

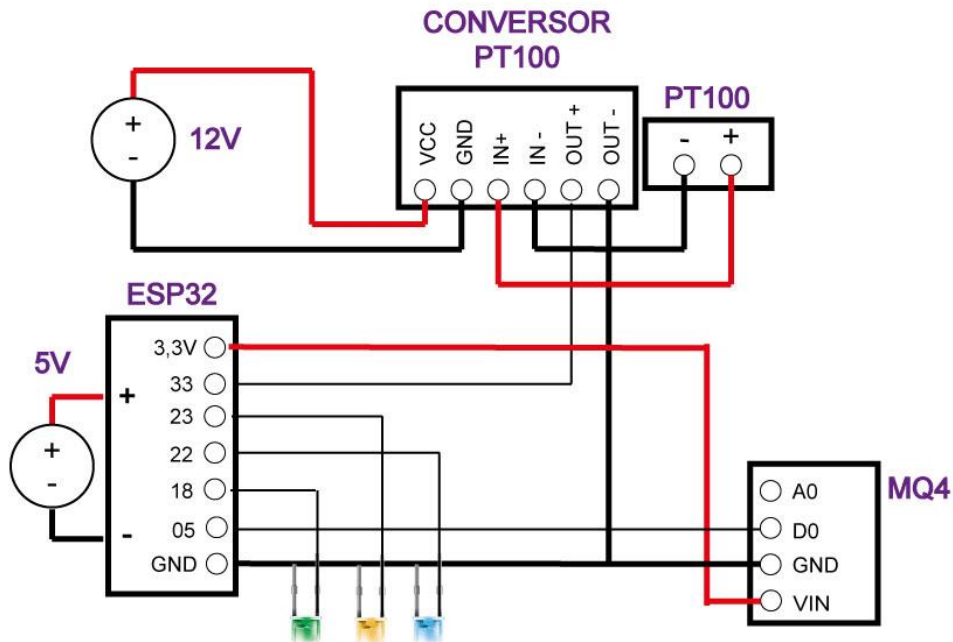
4.6.1 Diagrama Eletrônico

O dispositivo de tráfego de dados é constituído pelo Esp32, o PT100, o conversor do PT100 e os dois sensores MQ4, o diagrama eletrônico ficou assim:

Na Figura 33, o diagrama eletrônico mostra a conversão PT100, que é a mesma do dispositivo de controle, três leds de verificação visual e o sensor MQ4. O sensor MQ4 recebe em Vin a tensão de 3,3V do ESP32 e o GND recebe o seu

correspondente. O pino D0 do sensor MQ4 é enviado a entrada digital do ESP32 (pino 5).

Figura 33: Diagrama Eletrônico do Dispositivo de Tráfego de Dados



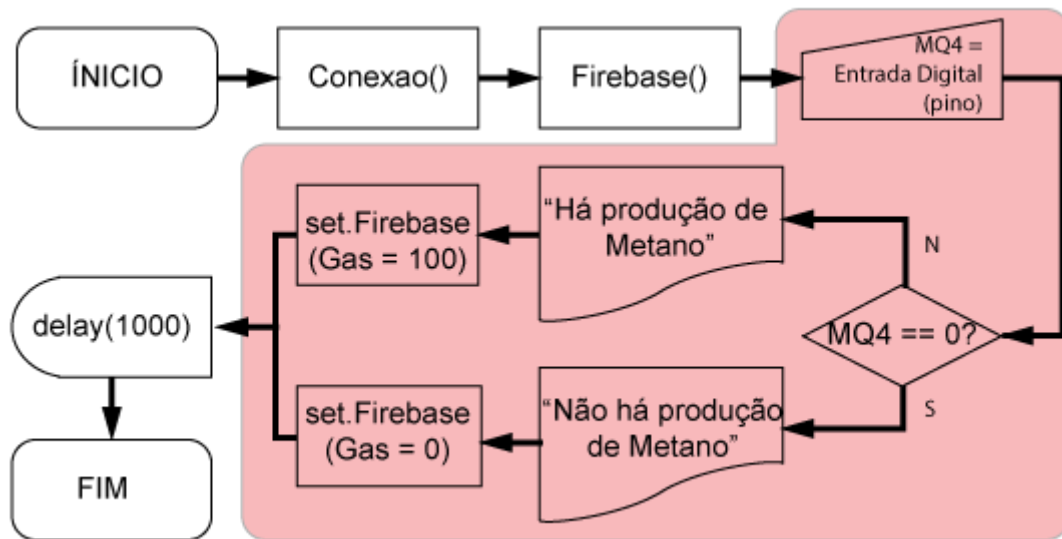
Autoria Própria

4.6.2 Função de Detecção de Gás

A detecção de gás é feita pelo sensor MQ4. O sensor é conectado a entrada digital 5 do ESP32 e apresenta uma característica de nível alto na ausência de gases inflamáveis e nível baixo na presença do mesmo.

A função Detecta() segue o seguinte fluxograma da Fig. 34.

Figura 34: Fluxograma da função Detecta()



Autoria Própria

Essa função será usada no algoritmo final do tráfego de dados e nos testes do sensor MQ4.

4.6.3 Função de Verificação Visual

A função de verificação visual existe para distinguir as etapas do processo e disparar um tipo de senha por meio de *leds* que obriga o usuário ao fazer o início do processo em contato visual com o projeto.

São três *leds* nas cores azul, amarelo e verde, como visto na Fig. 33, que se conectam ao ESP32 respectivamente pelos pinos 22, 23 e 18.

A dinâmica da verificação visual depende do estado do processo (*onoff*). Caso *onoff* esteja em modo ligado (1), a verificação visual vai expor o *led* azul ligado, o verde e o amarelo desligados.

Caso *onoff* esteja em modo desligado (0), tem-se duas possibilidades de estado de processo, desligado e iniciando. Em ambos os casos, os *leds* se comportam de acordo com o que o aplicativo configurou por meio do *Firebase*.

Quando o processo se encontra desligado, os caminhos `"/Biomassa/blue"`, `"/Biomassa/yellow"` e `"/Biomassa/green"` são configurados para zero (0), o código em ESP32 mantém os *leds* desligados.

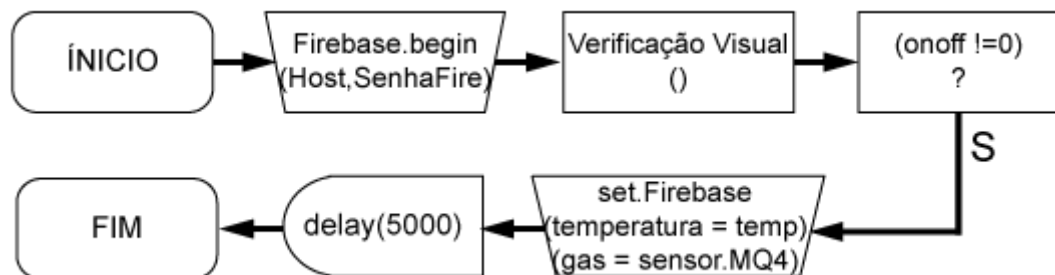
Quando o usuário clica no botão `"power"`, é enviado a partir do aplicativo ao *Firebase* um valor aleatório de 0 a 2 para os caminhos `"/Biomassa/blue"`,

“/Biomassa/yellow” e “/Biomassa/green”. A função de verificação visual seguirá o algoritmo da Fig. 34, nele se captura os valores obtidos nesses caminhos e aplica na saída dos pinos 22, 23 e 18. Se o valor recebido for igual a zero (0) o *led* permanecerá desligado, se o valor for igual a um (1) o *led* se acenderá e se dois (2) o *led* entrará em modo de alternância ligado e desligado. Essa dinâmica cria vinte e sete (27) possibilidades randômicas para a verificação visual.

4.6.4 Algoritmo Final

O algoritmo final usou a verificação visual e a estrutura de temperatura usada no dispositivo de controle. No fluxograma (Fig. 35) inicia-se o *Firestore* com os dados de “Servidor” e “Senha” configurados, é atualizada a verificação visual com a condição dos *leds*, captura-se o estado da variável *onoff* (*Firestore*), se o *onoff* for diferente de zero, o gás do banco de dados do *firebase* (/biomassa/gas) passa a receber os dados do sensor.mq4 e a temperatura (/biomassa/Temperatura) passa a receber os dados do pt100.

Figura 35: Fluxograma: Produção de Metano e Temperatura do ESP32 para o *Firestore*



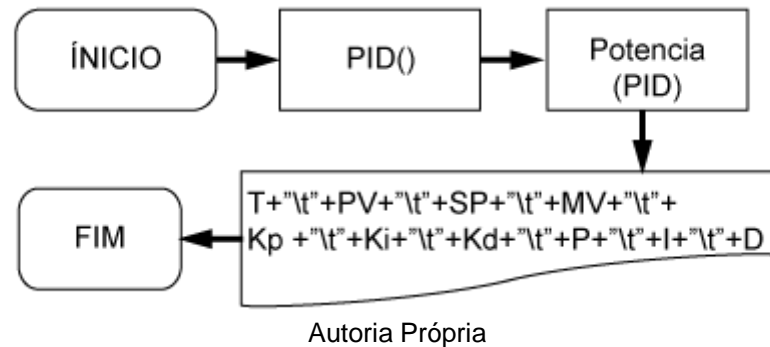
Autoria Própria

4.7 MÉTODO DE BALANCEAMENTO PID

Este método foi implementado para se fazer o balanceamento das constantes K_p , K_i e K_d de forma que estas pudessem criar um controle de temperatura suficiente para a faixa de trabalho.

O algoritmo (Fig. 36) foi feito basicamente aproveitando-se a lógica da função $PID()$, apenas adicionando a essa função o envio dos dados via terminal para a posterior análise.

Figura 36: Algoritmo de Balanceamento PID

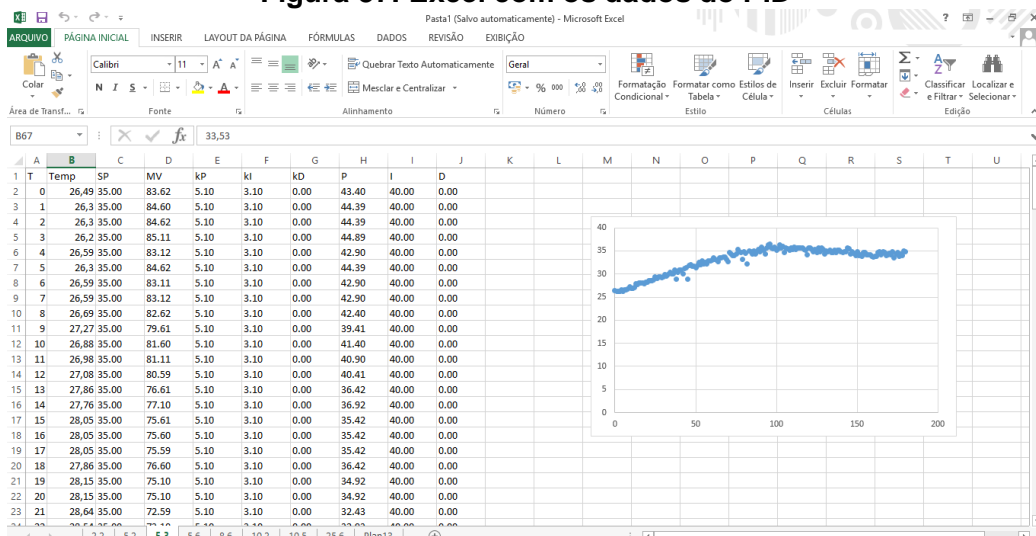


A cada segundo ocorre atualização das variáveis de tempo (T), temperatura (PV), valor desejado (SP), variável manipulada (MV), constantes proporcional (Kp), integrador (Ki) e derivativo (Kd) e as respostas proporcional (P), integral (I) e derivativo (D).

A faixa de tempo usada nos testes para a análise é de 180 segundos, os valores de Kp são incrementados a cada teste e analisadas as respostas Kp para se definir a mais adequada. Em seguida, é fixado o Kp escolhido na etapa anterior e faz-se testes incrementando Ki para chegar ao mais adequado, considerando o tempo de equilíbrio do processo, e manutenção da faixa proposta. O Kd foi configurado em zero (0) pois o controle proporcional - integral (PI) foram suficientes para o controle.

Foi usado o Excel para receber os dados do terminal e plotar os gráficos (Fig. 37).

Figura 37: Excel com os dados do PID



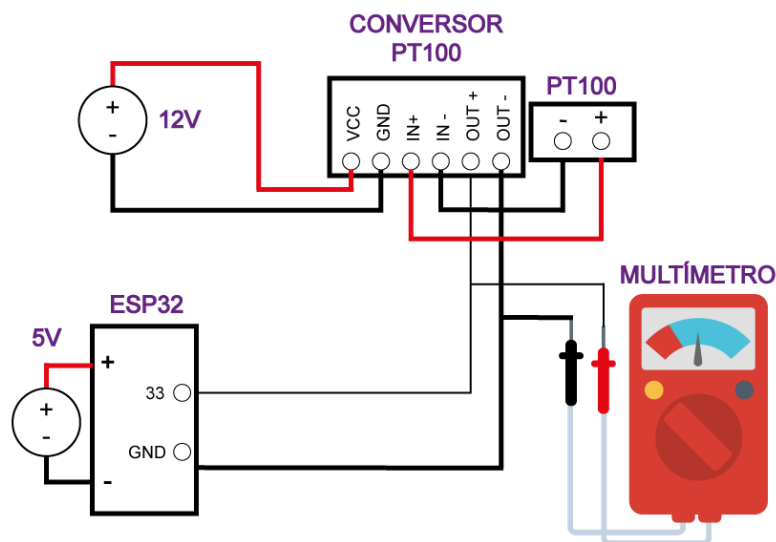
4.8 MÉTODO DE CALIBRAGEM DO PT100

O PT100 funciona com uma resistência variável que responde proporcionalmente a variação da temperatura. O módulo PT100 recebe essa resistência (R) e converte em um sinal de tensão (V). O ESP32 recebe a variação de tensão por uma entrada analógica e faz a conversão por meio de uma equação. Para se conhecer essa equação, é necessário que se calibre o PT100 submetendo o mesmo a duas temperatura distintas e conhecidas e posteriormente regular o módulo PT100 para uma tensão relativa conveniente em cada uma delas.

4.8.1 Diagrama

O diagrama de calibragem (Fig. 38) mostra que o conversor do PT100 recebeu a fonte de 12V para energização da placa, o positivo (+) e negativo do PT100 em *IN+* e *IN-*, enviou os dados de tensão positiva (*OUT+*) para o pino 33 e ponta positiva do multímetro e o GND (*OUT-*) para o correspondente em ESP32 e a ponta negativa do multímetro.

Figura 38: Diagrama de Calibragem do PT100

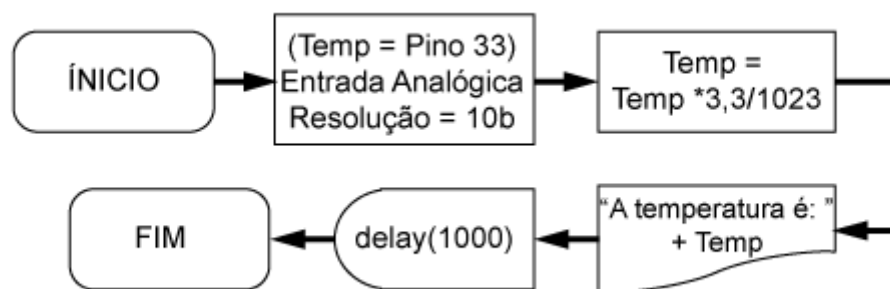


4.8.2 Função de Calibração

A função de calibração (Fig. 39) recebe no pino 33 os dados de tensão referentes ao conversor PT100. O pino foi configurado como entrada analógica com resolução de *10 bits*, ou seja, responderá de 0 a 1023, sendo 0 = 0V e 1023 = 3,3V.

Para se receber a tensão, ao invés de um sinal de 0 a 1023 foi usada a equação 18:

Figura 39: Função de Calibração - Calibracao()



Autoria Própria

4.8.3 Etapas de Calibração

A calibração do PT100 seguiu as seguintes etapas. Primeiramente foram conectados o PT100, ESP32 e os outros equipamentos como o diagrama da Fig. 38; em seguida gravou-se o ESP32 de acordo com a função da Fig. 39; criou-se duas amostras de água com temperatura distintas e conhecidas; submeteu-se o PT100 às amostras de água e regular a tensão pelos reguladores P1 e P2 da Fig.40 e testou-se o dispositivos de tráfego de dados e controle de temperatura submetendo o PT100 às amostras conhecidas analisando se a resposta do aplicativo corresponde a temperatura submetida.

Figura 40: Conversor PT100 com destaque aos reguladores P1 e P2

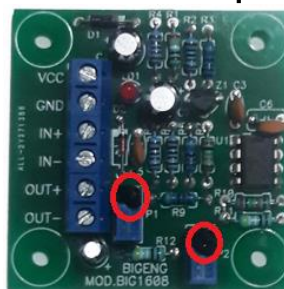


Foto: Autoria Própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são expostos os dados que averiguaram a funcionalidade do dispositivo criado.

Em “Funcionalidade do Aplicativo” foram testadas as lógicas criadas no aplicativo por meio do código de simulação do ESP32;

Em “Testes do Sensor MQ-4” foi testado o funcionamento do sensor de metano;

A calibragem do PT100 foi feita usando duas amostras com temperaturas conhecidas, e configurando o conversor PT100 para tensão conveniente para em seguida a definição de um algoritmo correto que demonstre a temperatura correta;

Em balanceamento do PID foram feitos vários testes para ajustes das constantes da proporcional, integral e derivativo e escolhido o parâmetro mais adequado para o projeto;

O funcionamento do dispositivo foi analisado comparando a ação do aplicativo com a reação do dispositivo;

Em análise de custo do projeto é feita uma explicação de custos do projeto;

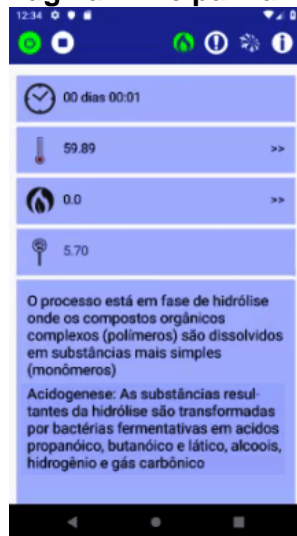
A comparação com biodigestores comerciais é feita nos aspectos de funcionalidade e gasto energético.

5.1 FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO

Afim de testar as funcionalidades da lógica do aplicativo, foi executado o algoritmo de simulação em ESP32 e o aplicativo.

Após o processo iniciado, e a adição manual de pH teórico, o aplicativo mostra o estado de hidrólise e acetogênese, esses dois estados não são distinguíveis pelos parâmetros de pH e metano, por isso são expostos conjuntamente.

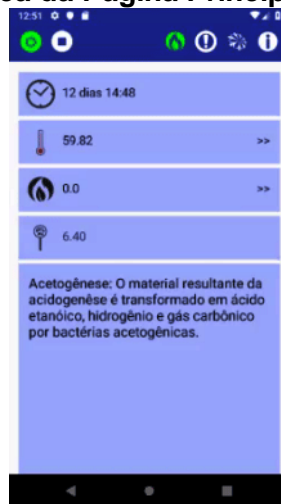
Figura 41: Característica da Página Principal na fase Hidrólise e Acetogênese.



Autoria Própria

A passagem da fase ácida para acetogênese foi estimada por meio da faixa do pH, pois este sai da faixa de 5,2 a 6,3 para 6.5 a 8 a característica da página na fase da acetogênese é vista na Fig. 42.

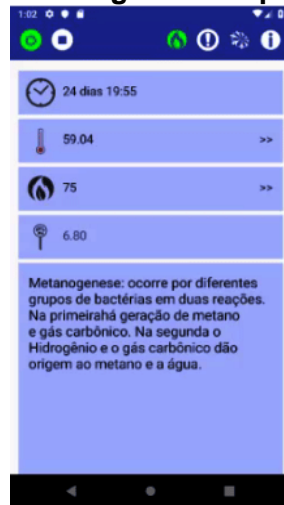
Figura 42: Característica da Página Principal na fase Acetogênese



Autoria Própria

Já a passagem da acetogênese para metanogênese foi estimada por meio da produção de biogás, há produção de biogás apenas na última etapa do processo (metanogênese). A característica da página na fase de metanogênese é visto na Fig. 43.

Figura 43: Característica da Página Principal na fase Metanogênese



Autoria Própria

5.2 TESTES DO SENSOR MQ4

Usando a função “Detecta()” foram feitos os testes no sensor de gás MQ4. Esse gás detecta gases inflamáveis como metano, propano e butano. Os seus testes foram feitos aproximando a um isqueiro (Fig. 44) que ao ser acionado libera gás butano.

Figura 44: Teste do Sensor MQ4



Autoria Própria

A entrada digital do sensor muda de *High(1)* pra *Low(0)* quando recebe o gás do isqueiro e como o fluxograma da função na Fig. 34 mostra, apresentou no terminal a frase “Há produção de Metano”.

5.3 CALIBRAGEM DO PT100

Para a calibragem do PT100 foram criadas duas amostras, uma com gelo e água (0°C) (Fig. 45), e outra com água em evaporação (100°C).

Figura 45: PT100 inserido em amostra de gelo e água



Autoria Própria

Submeteu-se o PT100 à temperatura de 0°C e configurou-se o regulador P1 (Fig. 46) até que o terminal do arduino respondesse aproximadamente com 0V.

Figura 46: Tensão no Terminal do Arduino para PT100 submetido a 0°C

```
#include <FirebaseESP32.h>
#include <WiFi.h>

/* Variável da Temperatura. */
#define TEMP 33
float pv = 0;

void setup()
{
  /* Inicia a Serial. */
  Serial.begin(115200);
  /* Inicia o Wi-Fi com Usuario e senha */
  analogReadResolution(10);
  pinMode(TEMP, INPUT);
}

void loop()
{
  pv = analogRead(TEMP);
  pv = 3.3 * (pv / 1023.0);
  Serial.print("A temperatura é: ");
  Serial.println(pv);
  delay(2000);
}
```

COM3

A temperatura é: 0.03
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.02
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00
 A temperatura é: 0.00

Auto-rolagem Show timestamp

Autoria Própria

O multímetro divergiu um pouco da tensão registrada, respondendo com 0,10V, como visto na Fig. 47.

Figura 47: Multímetro com o PT100 em 0°C



Autoria Própria

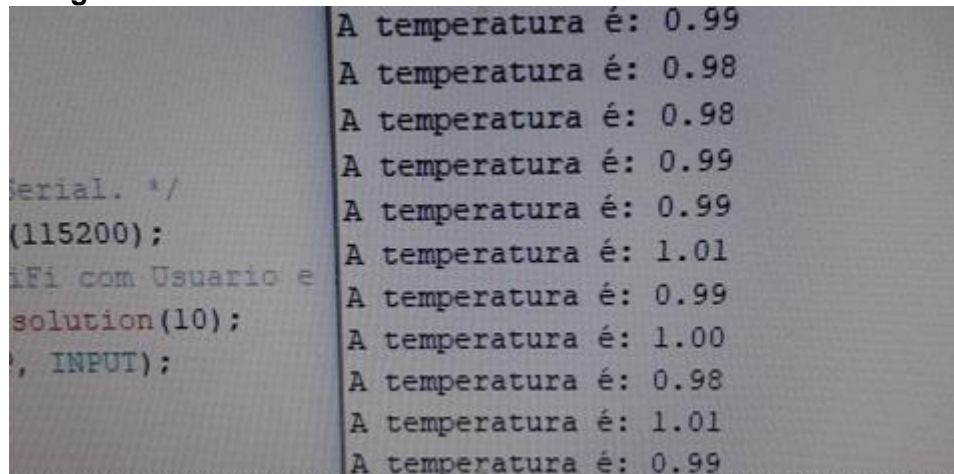
Submeteu-se o PT100 a temperatura de 100°C (Fig. 48) e configurou-se o regulador P2 até que o terminal do arduino respondesse com aproximadamente 1V (Fig. 49).

Figura 48: PT100 inserido em amostra de 100°C



Autoria Própria

Figura 49: Tensão no Terminal com o PT100 submetido a 100°C



Autoria Própria

O multímetro divergiu um pouco da tensão registrada, respondendo com 0,10V acima (1,09), como no teste de 0°C, como visto na Fig. 50.

Figura 50: Multímetro com o PT100 submetido a 100°C



Autoria Própria

Levou-se em consideração os dados obtidos pelo ESP32, 0V para 0°C e 1V para 100°C, com uma resolução de 1023.

5.3.1 Teste de Calibragem do PT100 nos Dispositivos

Esse teste foi definitivo para validar os dados da temperatura do sensor. Ele foi feito após os dispositivos de tráfego de dados e controle de temperatura estarem montados levando-se em conta a configuração da calibragem.

Habilitou-se pelo aplicativo o processo, e o mesmo passou a receber os dados de temperatura. Mergulhou-se o sensor PT100 em água a 0°C (Fig. 51).

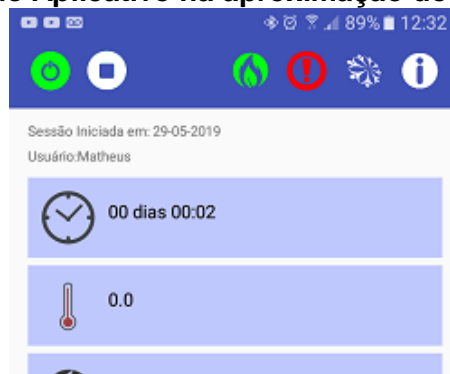
Figura 51: PT100 inserido em água em gelo fundente



Autoria Própria

O aplicativo mostrou a temperatura igual a 0°C (Fig. 52), o que corresponde a amostra que foi colocada no processo.

Figura 52: Interface do Aplicativo na aproximação do PT100 a água com gelo



Autoria Própria

O teste termina fazendo-se a correspondência da temperatura de 100°C com a resposta do aplicativo. Para isso aproximou-se o sensor PT100 a água a 100°C (Fig. 53).

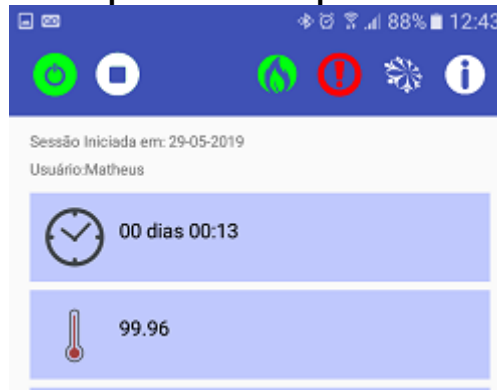
Figura 53: PT100 inserido em água de 100°C



Autoria Própria

O aplicativo mostrou a temperatura igual 99,96°C (Fig. 54), o que corresponde aproximadamente a temperatura a que foi submetida a amostra.

Figura 54: Aplicativo para o PT100 aproximado de água de 100°C



Autoria Própria

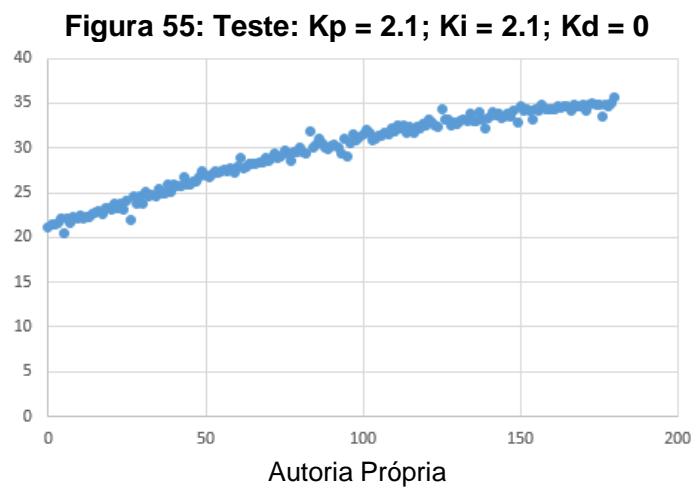
5.4 BALANCEAMENTO PID

O balanceamento dos valores de ganho do PID foi feito a partir de testes. Os valores escolhidos para o teste foram inicialmente com o intuito de chegar a um valor proporcional suficiente, capaz de manter a temperatura entre 33°C a 37°C. Mantendo a constante da integral em 2.1 (escolha aleatória) e constante da derivada em 0. Foram analisadas as constantes proporcionais aumentando o termo a cada teste, sendo então os valores 2.1, 5.1, 8.1, 10.1 e 25.1.

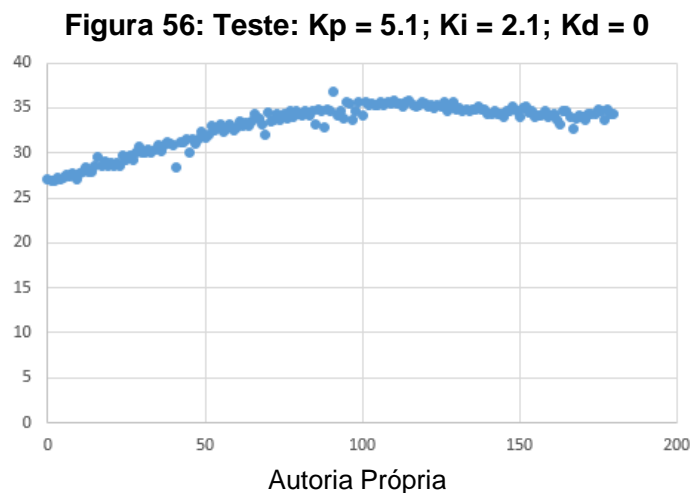
A faixa de temperatura mesófila de acordo com a Figura 1 tem alto rendimento entre 33°C a 37°C, os resultados foram analisados usando o tempo pra se chegar a essa faixa.

Outro fator analisado é se após chegar a temperatura de equilíbrio, a função proposta consegue se manter dentro dessa faixa.

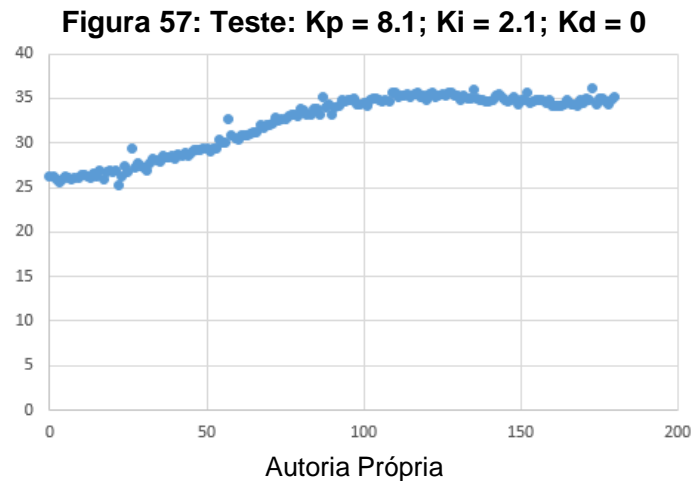
A Fig. 55 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 2,1$, $K_i = 2,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou em 132 segundos na faixa de 33 a 37 graus, se mantendo nela até o fim do teste.



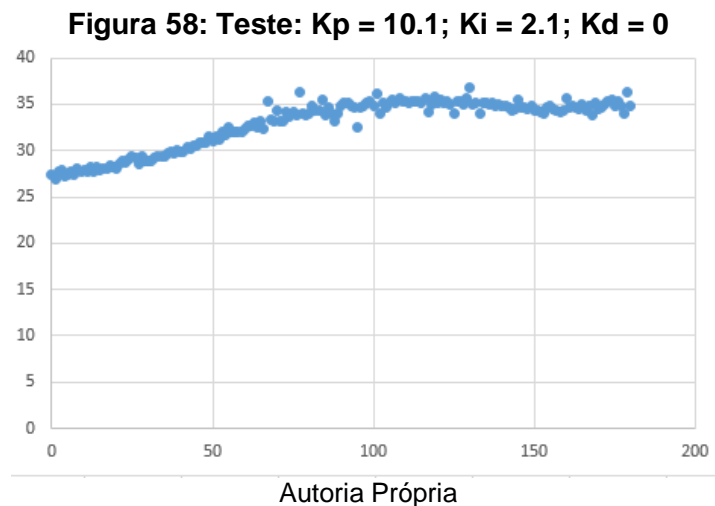
A Fig. 56 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 5,1$, $K_i = 2,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 61 segundos e se manteve nessa faixa até o fim do teste.



A Fig. 57 mostra o gráfico do primeiro teste que foi configurado com o $K_p = 8,1$, $K_i = 2,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 80 segundos e se manteve nessa faixa até o fim do teste.

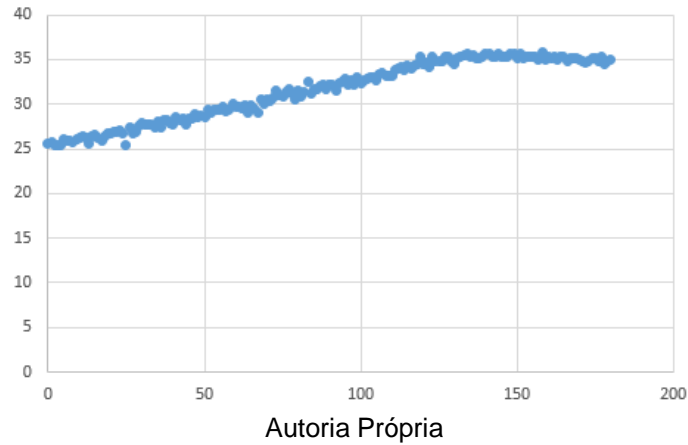


A Fig. 58 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 10,1$, $K_i = 2,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 67 segundos e se manteve nessa faixa até o fim do teste.



A Fig. 59 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 25,1$, $K_i = 2,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 106 segundos e se manteve nessa faixa até o fim do teste.

Figura 59: Teste: $K_p = 25.1$; $K_i = 2.1$; $K_d = 0$

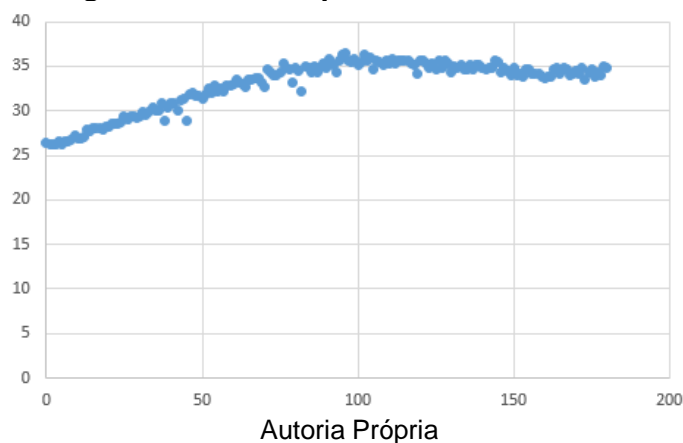


Os resultados dos testes de K_p mostraram que todas as configurações foram bem sucedidas em manter a temperatura na faixa mesófila após o equilíbrio, sobre o tempo até o equilíbrio na faixa mesófila o teste que contém $K_p = 5.1$ foi o mais eficiente.

Fixando o K_p em 5.1, foram feitos testes para se aferir a melhor configuração de K_i . Usando $K_i = 2,1$ (teste já feito na Fig. 60), e incrementando pra $K_i = 3,1$ e $K_i = 6,1$.

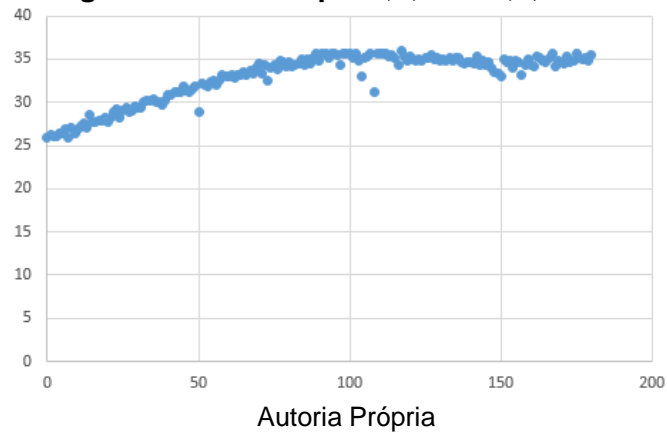
A Fig. 60 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 5,1$, $K_i = 3,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 65 segundos e se manteve nessa faixa até o fim do teste.

Figura 60: Teste: $K_p = 5,1$; $K_i = 3,1$; $K_d = 0$



A Fig. 61 mostra o gráfico do teste que foi configurado com o $K_p = 5,1$, $K_i = 3,1$ e $K_d = 0$. O resultado mostrado chegou na faixa mesófila em 63 segundos e teve oscilação não se mantendo nessa faixa até o fim do teste.

Figura 61: Teste: $K_p = 5,1$; $K_i = 6,1$; $K_d = 0$

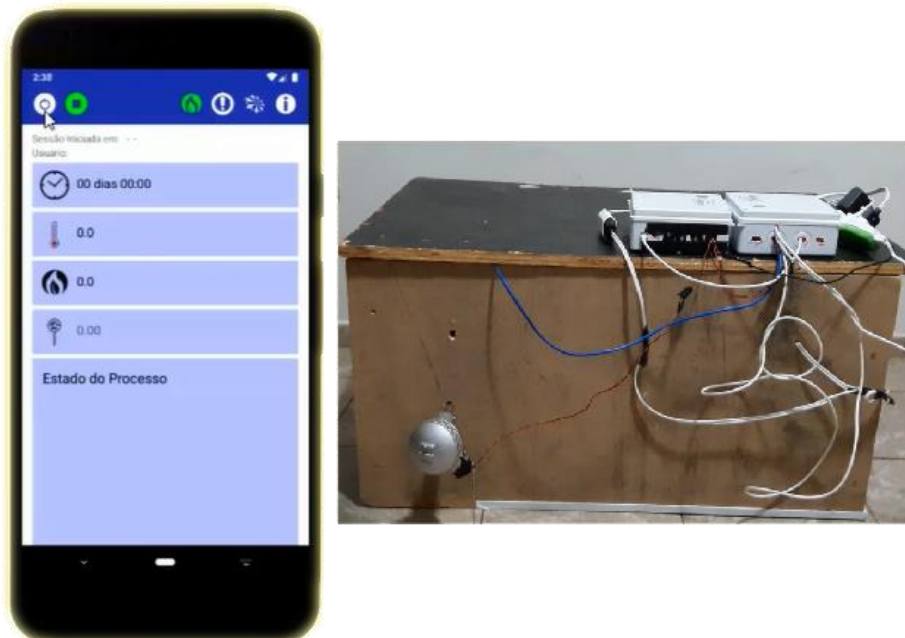


5.5 FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO

O teste de funcionamento foi feito acionando as funções do aplicativo e analisando a forma como se comportou o dispositivo.

Inicialmente, o aplicativo estava desabilitado e o dispositivo desligado com os *leds* verde, azul e o amarelo apagados (Fig. 62).

Figura 62: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial “Desligado”



Autoria Própria

Na Fig. 63 o aplicativo foi clicado no ícone “*power*”, o dispositivo assim que recebeu o sinal gerou uma senha de verificação visual (*leds* azul, verde e amarelo ligados), pelo aplicativo se configurou o usuário, a senha numérica e a verificação visual e clicado em iniciar.

Figura 63: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela "Power"



Autoria Própria

Após ligar o aplicativo, assim que o comando chega ao dispositivo, ele liga o controle de temperatura e recebe os dados de temperatura, metano, pH e estado do processo como visto na Fig. 64. O dispositivo demonstra que está funcionando quando apenas o *led* azul está ligado.

Figura 64: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial "Ligado"



Autoria Própria

Após 2 minutos de dispositivo ligado, a temperatura já está equilibrada entre 33°C e 37°C (Fig. 65).

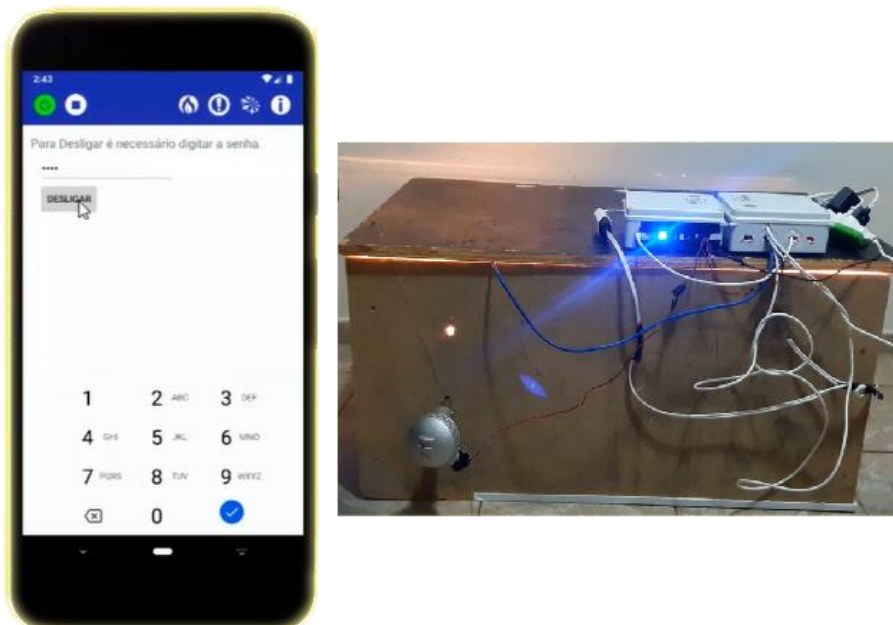
Figura 65: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Equilíbrio de Temperatura



Autoria Própria

Na Fig. 66, clicou-se no ícone “stop”. Nele foi inserido a senha e clicado em “Desligar”.

Figura 66: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela "Off"



Autoria Própria

Assim que se desliga o equipamento (Fig. 67), os *leds* voltam a se desligar e o aplicativo zera as variáveis e para de recebê-las do Esp32.

Figura 67: Comparação entre Aplicativo e Dispositivo: Tela Inicial após Desligamento



Autoria Própria

5.6 ANÁLISE DE CUSTO DO PROJETO

A análise de custo do projeto foi feita a partir da cotação de preços referentes a maio de 2019, pra isso foi usado o menor preço encontrado de cada componente em empresas constituídas como visto na Tabela 1.

Tabela 1: Cotação da Lista de Componentes do Projeto

COMPONENTE	EMPRESA	QDE	PREÇO	TOTAL
ESP32	Curto Circuito	2	R\$ 66,90	R\$ 133,80
Caixa Sibratec	Branco Materiais	2	R\$ 25,50	R\$ 51,00
Carregar Samsung	Americanas	1	R\$ 24,17	R\$ 24,17
Lâmpada Incandescente 100W Taschibra	Americanas	3	R\$ 5,99	R\$ 17,97
Rosca Lorenzetti 1451-N	Casas Bahia	3	R\$ 6,99	R\$ 20,97
Fio Elétrico de 6mm (m)	Betel	3	R\$ 8,00	R\$ 24,00
Módulo Dimmer	Usina Info	1	R\$ 42,56	R\$ 42,56
Conversor Temperatura PT100	ARGFBIG	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Mini Ventilador USB	MundoMax	1	R\$ 19,71	R\$ 19,71
Cabo USB, carregador e dados	Cirilos Cabos	2	R\$ 12,99	R\$ 25,98
Isqueiro BIC	Kalunga	1	R\$ 4,50	R\$ 4,50
Cabo Flexível Vermelho 26 (m)	Baú da Eletrônica	3	R\$ 0,33	R\$ 0,99
Cabo Flexível Preto 26 (m)	Baú da Eletrônica	3	R\$ 0,33	R\$ 0,99
Carregador Boyu USB 15w 4 portas	Shoptime	1	R\$ 26,44	R\$ 26,44
Extensão 3m	Betel	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
				R\$ 463,08

Autoria Própria

É importante salientar que a lista da Tabela 1 mostra a cotação dos componentes sem levar em conta os possíveis fretes.

5.7 COMPARAÇÃO COM BIODIGESTORES COMERCIAIS

A comparação foi feita do projeto com os biodigestores comerciais quanto a funcionalidades.

Quanto ao volume, a amostra utilizada é bem menor para o projeto desenvolvido, sendo de no máximo 18 Litros e no biodigestor comercial maiores que 600 Litros.

Os biodigestores comerciais tem sistemas de liberação de gás e de auto-limpeza que não está disponível na versão de projeto.

Quanto a otimização da temperatura de processo, no biodigestor comercial o processo ocorre em temperatura ambiente enquanto no projeto ocorre à temperatura média controlada de 35°C.

A geração de informações de temperatura, pH e metano além da gestão de processos só ocorre neste projeto.

Considerando esses fatores, o projeto proposto apresenta amostras menores de processo, com mais detalhamento e controle de variáveis, monitoramento do

processo via aplicativo, sendo assim, próprias para uso didático e aprofundamento de análises.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou a pesquisa, constatou-se que a gestão de resíduos é um grande desafio aos países em desenvolvimento e que a biodigestão é uma alternativa interessante pra tratar esses resíduos que são gerados.

Averigou-se que o objetivo de criar uma ferramenta capaz de otimizar a biodigestão por meio do controle de temperatura e facilitar a manipulação do processo via aplicativo foi atingido.

O dispositivo foi capaz de manter a temperatura na faixa mesófila por meio do controle PID e de enviar dados de temperatura e geração de metano via internet para o banco de dados.

O aplicativo desenvolvido foi capaz de receber os dados do banco de dados, informações manuais da condição de pH e, a partir desses, gerar informações relevantes como estágio do processo, tempo decorrido e variáveis instantâneas.

A pesquisa partiu da hipótese de que era possível fazer uma ferramenta de otimização do processo de biomassa com manipulação via acesso remoto. A hipótese foi confirmada pois o dispositivo consegue fazer todas as funções propostas e é controlado via aplicativo.

O estudo foi realizado por meio da simulação do ESP32 para a posterior criação e validação do código do aplicativo. Em seguida foram desenvolvidos os dispositivos de controle de temperatura e tráfego de dados e feitas as calibrações e testes de cada equipamento para assegurar a segurança dos dados aferidos.

O projeto verificou no sensor de gás MQ-4 duas limitações. O sensor não consegue enviar informações precisas de quantidade de geração de metano (ppm), essa limitação acaba restringindo a resposta do aplicativo quanto a qual amostra gerou mais metano entre duas amostras diferentes. Outra limitação importante é que o sensor MQ-4 não funciona a temperaturas maiores que 50°C impedindo que o projeto fosse configurado na temperatura mais eficiente (termófila).

O dispositivo é restrito ainda por não conter uma interface de configuração de internet, sendo obrigatoriamente pré-configurada no código do ESP32.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Uma pesquisa importante a ser criada a partir da ferramenta desenvolvida é a análise da resposta de tempo das quatro etapas do processo para diversas origens de resíduos sólidos comparando os tempos de geração de metano de cada uma delas.

A atualização do projeto desde que tenha se descoberto um sensor capaz de ter precisão em ppm da produção de metano e faixa de funcionamento que suporte a temperatura termófila com as seguintes características:

- Precisão na análise da geração de metano;
- Capacidade de produção de metano na sua temperatura termófila;
- Atualização do aplicativo para até 4 amostras simultâneas;
- Configuração da internet customizável.

O aplicativo com essas mudanças seria capaz de comparar a produção de metano de uma diversidade de resíduos orgânicos com uma grande rapidez.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2017.
- BOUALLAGUI, H.; HAOUARI, O.; TOUHAMI, Y.; CHEIKH, R.B.; MAROUANI, L.; HAMDY, M. **Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste**. *Process Biochemistry*, Riekmansworth, v.39, n.12, p.2.143-2.148, 2004.
- CAMPOS, A. T. **Análise energética de biodigestores tubulares usando dejetos de suínos**. *Anais do Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural*. Campinas: NIPE/SBEA/UNICAMP, 2004. v. 1. p. 1-6.
- CARLSSON M, LAGERKVIST A, SAGASTUME FM 2012. **The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems : A review**. *Waste Management* 32(9): 1634–1650
- CHERCHINARO, C.A. - **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Volume 5: Reatores Anaeróbios**. ABES, 1996.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- ESP32 Series Datasheet V3.0, 2019
- Firestore**. Disponível em: <<https://firebase.google.com>> Acesso em: 26. jun. 2019
- GitHub - mobzt/Firebase-ESP32 client**. Disponível em: <<https://github.com/mobzt/Firebase-ESP32/>> Acesso em: 28. jan. 2019.
- HW Sensor. Datasheet: **MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas**. **Henan Hanwei Electronics**, 2013
- LEMO, E. H. **Automação de um Processo de Malteação**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Automação Industrial) – CEFET-MG, 2017.
- LOUIS, LEO; **Working Principle Of Arduino And Using It As A Tool For Study And Research**. *International Journal Of Control, Automation, Communication And Systems*, v. 1, n. 2, abr. 2016
- LOURENÇO. João; **Sintonia De Controladores P.I.D. Estudos Avançados**, 1997
- MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1986.

METCALF, E.; EDDY, M. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3a ed, Nova York, Estados Unidos: McGraw-Hill.1991.

Módulo Dimmer para Arduino / Pic MC - 8A com sinal Zero Cross. Disponível em:
<<https://www.usinainfo.com.br/dimmer-arduino/modulo-dimmer-para-arduino-pic-mc-8a-com-sinal-zero-cross-2799.html>> Acesso em: 06. fev. 2019.

Módulo MQ4 - Sensor de Gás Metano. Disponível em:
<<https://www.robocore.net/loja/produtos/sensor-de-gas-metano-mq-4.html>> Acesso em: 5. dez. 2018.

REIS, A.S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. Monografia (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2012.

RODRIGUES, A. A. L. S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro 2005. 164 p

SALOMON, KARINA. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2007.

SAIKIA, D.; NATH, M. J. **Integrated solid waste management model for developing country with special reference to Tezpur municipal area, India**. International Journal of Innovative Research & Development, v. 4, n. 2, p. 241–249, 2015.

SCHUTZ, F.; MASSUQUETTI, A.; ALVEZ, T. W. **Demanda e oferta energética uma perspectiva mundial e nacional para o etanol**. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology, Santa Maria, v. 16, n. 16, p. 3167-3186, nov. 2013

SILVA, P. N.. **Equações Diferenciais Ordinárias**. , 2005. v. 01. 269p.

Sobre a Plataforma. Disponível em: <<https://developer.android.com/about/?hl=pt-br>> Acesso em: 5. dez. 2018.

Software de animação, ferramenta simples de animação (Adobe Creative Cloud). Disponível em:< <https://www.adobe.com/br/creativecloud/animation-software.html?promoid=BWBX34W1&mv=other>> Acesso em 26. jun. 2019.

Software de Planilha. Disponível em:
< <https://products.office.com/pt-br/excel> > Acesso em 26. jun. 2019.

Termorresistência. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Termorresistência>> 31. mai. 2019.

TOLMASQUIM, M. (2012). **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Estudos Avançados, 26(74), 247-260.