Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Campus Regional Montes Claros

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

PROTÓTIPO DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA ALTERNATIVO UTILIZANDO BIOGÁS

LUD' MILLA MELÚCIO GUEDES

Lud' Milla Melúcio Guedes

PROTÓTIPO DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA ALTERNATIVO UTILIZANDO BIOGÁS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Flávio Pimenta de Figueiredo

Montes Claros
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos 12 dias do mês de dezembro de.2022 às 14:00 hs, a estudante Lud' Milla Melúcio Gueses, matrícula 2019436943 defendeu o Trabalho intitulado "Protótipo de um aquecedor de água alternativo utilizando biogás", tendo obtido a média 90(noventa) por extenso.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota—(..90....)

Orientador(a):Flávio Pimenta de Figueiredo

Nota—(...90....)

Examinador(a):Rodinei Facco Pegoraro

Nota—(–90–)

Examinador (a):Lis Lorena Melúcio Guedes

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador(a) e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

RESUMO

O tratamento de dejetos de animais, aves, bovinos e suínos, possibilita a geração de biogás, que possui elevado poder energético, contribuindo como fonte de energia. Estudos estão sendo realizados em busca de alternativas para uma melhor eficiência do aquecimento de água utilizando biogás. O experimento foi conduzido com o objetivo de desenvolver e construir um aquecedor alternativo de água a biogás eficiente e viável, utilizando peças e materiais recicláveis e que foram descartados, para compor parte do equipamento. Foi utilizado o espaço do Laboratório de Tratamento de Resíduos da Universidade Federal de Minas Gerais, Campos Montes Claros- MG e o biogás proveniente do setor de suinocultura da Universidade. Realizou 4 ensaios que envolveram coleta da temperatura ambiente, a temperatura ambiente da água, a temperatura da água aquecida, a temperatura do aquecedor ligado e a vazão da água. Utilizou o chuveiro da marca Lorenzetti tradicional, 4.500w. O terceiro ensaio se destacou por atingir 39,9°C a um volume de 5L/min, bem como o teste de funcionamento realizado na propriedade rural que atingiu 39,8°C a um volume de 5L/min, ambos por meio do aquecedor de água utilizando o biogás. O equipamento foi entregue a um pequeno produtor rural da comunidade de Alvação, município de Mirabela-MG, em que possuía tal demanda a fim de utilizar o biogás que a propriedade gera a partir dos dejetos da bovinocultura de leite, com o intuito de aquecer a água do banho diário das pessoas residentes no sítio, bem como visando a economia de energia elétrica. O aquecedor de água foi desenvolvido com um custo de R$254,00, no qual evidencia ser uma alternativa viável para compor as pequenas propriedades rurais, para aquecimento de água de chuveiro em detrimento ao uso de energia elétrica de forma parcial ou total a depender da produção de biogás, possibilitando economia considerável na conta de luz mensal.

Palavras-chave: Aquecimento de Água. Energia Sustentável. Reação Exotérmica. Biodigestor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Biodigestor modelo indiano do ICA em funcionamento 18

Figura 2- Botijão vazio de gás refrigerante modelo R22.....18

Figura 3- Etapa de corte transversal do botijão.....19

Figura 4- Adaptação dos suportes no botijão.....20

Figura 5- Instalação do regulador de altura no botijão.....20

Figura 6- Condensador de refrigeração adquirido no ferro velho.....21

Figura 7- Dimensões do condensador de refrigeração.....21

Figura 8- Desenvolvimento e instalação da chaminé.....22

Figura 9- Furo circular central realizado na repartição inferior do botijão.....22

Figura 10- Queimador adquirido e adaptado para ser instalado na repartição inferior do botijão 23

Figura 11- Instalação da válvula de entrada de ar, bico injetor, pino misturador de ar e o regulador de oxigênio.....23

Figura 12- Dimensões da válvula de entrada de ar, bico injetor, pino misturador de ar e o regulador de oxigênio.....24

Figura 13- Vista lateral do aquecedor, exibindo o condensador.....24

Figura 14 - Vista frontal do aquecedor e suas respectivas dimensões 25

Figura 15- Instalação e conexão das mangueiras referentes a passagem de água e biogás.....26

Figura 16- Aquecedor instalado na grade de segurança do laboratório.....26

Figura 17- Esquematização do aquecedor de água a biogás integralmente instalado 27

Figura 18- Aquecedor de água a biogás em funcionamento para a realização dos testes 27

Figura 19- Realização do ensaio e medição da temperatura da água.....28

Figura 20- Medição da água utilizando uma bacia e um béquer.....29

Figura 21- Visita técnica na propriedade contemplada com o aquecedor de água a biogás....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.....13
Tabela 2- Propriedades termofísicas do cobre.....15
Tabela 3- Especificações e medidas do botijão vazio de gás refrigerante modelo R22.....19
Tabela 4 - Dados adquiridos no primeiro ensaio 29
Tabela 5 - Dados adquiridos no segundo ensaio..... 29
Tabela 6 - Dados adquiridos no terceiro ensaio..... 30
Tabela 7 - Dados adquiridos no quarto ensaio..... 30
Tabela 8 - Dados adquiridos com o chuveiro conectado na energia elétrica..... 31
Tabela 9 - Dados adquiridos a partir do funcionamento do equipamento instalado na propriedade e acionado por biogás.....32
Tabela 10 – Relação de peças e componentes utilizados para a confecção do aquecedor de água a biogás..... 32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

H	– Energia total
H_f	– Entalpia final
H_i	– Entalpia inicial
$J.kg^{-1}K^{-1}$	– Joule por quilograma por kelvin
K	– Condutividade térmica
LCD	– Liquid Crystal Display
PCI	– Poder calorífico inferior
PCS	– Poder calorífico superior
U	– Energia interna
$W.m^{-1}K^{-1}$	– Watt por kelvin por metro quadrado
ΔH	– Variação de entalpia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
2 OBJETIVOS 11
2.1 OBJETIVO GERAL 11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
3 REFERENCIAL TEÓRICO 12
3.1 ENERGIA ALTERNATIVA 12
3.2 INOVAÇÃO NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO 13
3.3 ENERGIA 14
3.4 ENTALPIA 14
3.5 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR 14
3.6 PODER CALORÍFICO 16
3.7 COMBUSTÍVEIS 16
3.8 BALANÇO TÉRMICO 16
3.9 SISTEMAS DE COMBUSTÃO 16
4 MATERIAL E MÉTODOS 18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
6 CONCLUSÃO 36
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 37
REFERÊNCIAS 38

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior sistema elétrico da América Latina, ocupando a oitava posição entre os maiores consumidores de eletricidade do mundo, de acordo com os dados do Instituto E+ Transição Energética (2019). Os sistemas energéticos serão redesenhados nas próximas décadas, o que afetará a geopolítica, os negócios, os governos e a sociedade. As preocupações com as mudanças climáticas e a segurança energética estão na origem desse processo (ABRAHÃO; SOUZA, 2021).

Nestes últimos vinte anos, o país apresentou um processo de encarecimento da energia elétrica e do gás natural, sendo estas, importantes fontes de energia empregadas na produção e no consumo final das famílias urbanas e rurais. Com isso, elevou de forma intensa os custos de produção da indústria brasileira, superando os índices de inflação, afetando na aquisição e poder de compra do brasileiro (MORAIS; BARREIROS, 2018). De acordo com a Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (2022), entre 2017 a 2022, a energia elétrica no Brasil aumentou cerca de 47%, atingindo diretamente o consumidor final.

Além disso, o número de domicílios que usavam carvão ou lenha para cozinhar, cresceu 27% entre 2016 e 2018, mesmo período em dispararam o desemprego e o preço do gás de cozinha, segundo a pesquisa domiciliar do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). No geral, estas pessoas procuram alternativas mais viáveis para contornar tais situações como forma de sobrevivência, principalmente no meio rural, no qual praticam o desmatamento para a aquisição de lenha e deixam de utilizar a eletricidade para questões básicas, assim como tomar banho, acender a lâmpada e assistir televisão, visando a substituição do gás de cozinha e a economia de energia, respectivamente.

Neste sentido, a importância em desenvolver alternativas tecnológicas para o uso racional dos recursos disponíveis provenientes das atividades agropecuárias é considerado primordial no meio rural. O Brasil é um dos principais países no comércio internacional e tem se destacado na produção e criação de animais (SILVA *et al*., 2014). No entanto, os problemas ambientais têm se intensificado, principalmente a partir da mudança do sistema de criação extensiva para o modelo intensivo de confinamento, devido à alta produção de dejetos animais e consequentemente a contaminação da água, do solo e do ar (PORTO, 2019). Tendo em vista a biomassa como produto, viu-se a necessidade de alternativas de aproveitamento, sendo possível a geração e utilização de biogás permitindo assim a mitigação desses problemas ambientais, além de ter o potencial de geração de energia elétrica e térmica (BARBOSA; LANGER, 2011).

A implantação de biodigestores é uma das alternativas indicadas, uma vez que a fermentação anaeróbia de resíduos tem como subproduto a produção de biogás. Ao realizar o tratamento de dejetos, é gerado o biogás que possui elevado poder energético (MARQUES, 2014). Por conseguinte, o aproveitamento energético, proporciona uma melhor gestão dos recursos econômicos da propriedade (BARBOSA; LANGER, 2011). Em conformidade com Fernandes e Testezlaf (2002), a utilização de biodigestores contribui para a integração das atividades agropecuárias, aproveitando o esterco ao qual, normalmente, é dado pouco ou nenhum valor comercial, convertendo-o em duas bases para o desenvolvimento sustentável: em energia renovável e em fertilizante orgânico. Ainda, os autores afirmam que proporciona aumentos na produção agrícola e energia para a transformação dos produtos, agregando valor, organizando a produção, aumentando a conservação e melhorando a logística de comercialização.

Esta utilização do biogás nas propriedades rurais, proporciona também o funcionamento de eletrodomésticos tais como fogão e geladeira, além do aquecimento da água destinada aos banhos diários das pessoas. O desenvolvimento de equipamentos viáveis, simples e eficientes para o aquecimento de água para diversos fins, utilizando o biogás, proporcionaria a substituição da lenha pelo biogás de forma parcial ou até total, dependendo da geração de dejetos animais, bem como a economia de eletricidade, no qual permitiria o aquecimento da água para atender as necessidades das propriedades rurais.

Portanto, o aproveitamento do biogás se mostra como uma alternativa significativa dentre vários benefícios, contribuindo como fonte de energia térmica e elétrica, reduzindo os custos provenientes da demanda energética das propriedades rurais. Nesse contexto, considerando o biogás como alternativa energética renovável e viável para o meio rural, este trabalho teve como objetivo promover por meio da inovação um equipamento que seja viável e eficiente para o aquecimento de água a biogás.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral com este trabalho foi desenvolver um protótipo de um aquecedor alternativo de água à biogás.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Desenvolver e construir um aquecedor de água utilizando o biogás;
- Utilizar peças e materiais recicláveis e que foram descartados, para compor parte do equipamento;
- Testar a funcionalidade do equipamento por meio do aquecimento da água e mensuração da temperatura e vazão;
- Verificar a viabilidade e segurança do aquecedor.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ENERGIA ALTERNATIVA

A energia fornece apoio térmico, mecânico e elétrico às atividades humanas, considerada importante quanto ao desenvolvimento socioeconômico (JANEZ, 2017). As fontes energéticas podem ser classificadas em função da renovabilidade. Enquanto os combustíveis fósseis são considerados não renováveis, a hidroeletricidade e a biomassa podem apresentar especificidade sustentável (BERMANN, 2003).

A busca pela auto suficiência em geração de energia, associada a uma diversificação da matriz energética se faz presente no atual cenário mundial, seja essa procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países (PACHECO, 2006). Esta demanda está crescendo gradativamente, atrelada a preocupação com o fim das reservas de fontes não renováveis e com a poluição que elas causam (JANEZ, 2017). Dentre as fontes renováveis de energia, o Brasil tem destaque para as pequenas centrais hidrelétricas, biomassa e energia eólica, sendo a biomassa uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais e agroindustriais (COLDEBELLA *et al*., 2006; SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013).

O uso de fontes renováveis de energia, como o biogás, vem se destacando em todo o mundo nos últimos anos devido à demanda por sustentabilidade na produção, redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), procura por fontes mais viáveis, bem como ao aumento do consumo mundial de energia (MARIANI, 2018). A utilização dos biodigestores no meio rural se destaca devido aos aspectos de saneamento e geração de energia térmica e elétrica, além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes (SILVA; FRANCISCO, 2010). Um biodigestor é constituído sobretudo, de uma câmara fechada na qual a biomassa, no geral resíduos de animais, é fermentada anaerobicamente, isto é, na ausência de ar. A partir dessa fermentação, resulta-se a liberação de biogás e a produção de biofertilizante (ARAÚJO, 2017).

A matéria orgânica que é utilizada na produção do biogás está presente nos resíduos domésticos, dejetos de suínos, bovinos, cama de aviário, entre outros (NASCIMENTO; ACÁCIO, 2014). O biogás é rico em metano, sendo este, o principal componente do gás natural. O seu poder energético é medido levando em consideração a quantidade de metano que influencia na riqueza do biogás, ou seja, quanto mais metano, mais rico é o biogás (GUSMÃO, 2008).

A Tabela 1, apresenta a característica média dos resíduos para a produção de biogás, indicando os valores médios da possibilidade de obtenção deste gás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.

Tabela 1- Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais

Animal peso vivo	**esterco/ animal/ dia (Kg)**	**biogás/ kg/ esterco (m^3)**	**biogás/ animal/ dia (m^3)**
Bovino (500 kg)	10- 15	0,038	0,36
Suínos (90 kg)	2,3- 2,5	0,079	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12- 0,19	0,022	0,014

Fonte: Adaptada de Oliveira, 1993.

A produção de biogás é uma inovação que fundamenta a interação entre diversos setores, a partir do aproveitamento de dejetos animais ou vegetais. O uso do biogás para gerar energia térmica têm apresentado um grande potencial energético nas propriedades rurais, a partir da construção de um biodigestor de baixo custo, em que o biogás pode ser usado para destinar gás ao fogão e aquecer a água que abastece a residência, por exemplo. Um botijão de gás de 13kg tem duração de trinta dias à uma família de 5 pessoas (MARIANI, 2018) e o uso do chuveiro elétrico representa, em média, 1/4 do total dos gastos com energia nas residências brasileiras (BARBOSA; LANGER, 2011).

O biogás pode servir como uma oportunidade para os pequenos produtores rurais de forma que substituam o uso da madeira e de combustíveis fósseis (gás de cozinha), uma vez que o consumo de madeira é uma das razões para o desmatamento e a degradação do meio ambiente, e ainda consiga reduzir os custos com energia elétrica e o gás de cozinha (CAMPBELL; SALLIS, 2013; LYYTIMAKI, 2018).

3.2 INOVAÇÃO NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

Segundo o Manual de Oslo uma inovação pode ser classificada de acordo com seu impacto na sociedade, sendo novo ou aprimorado, produto ou processo (ou uma combinação dos mesmos) que difere significativamente dos produtos ou processos anteriores, este ainda sendo disponibilizado para usuários em potencial (produto ou processo). O agronegócio brasileiro tem como desafio, evoluir de forma competitiva e, principalmente, sustentável, com o objetivo de atender a demanda interna, conquistar e manter espaço no mercado interno e externo (SANTOS, 2017).

3.3 ENERGIA

James Maxwell em 1872 definiu energia como sendo "aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema em oposição a uma força que resiste a essa mudança". Esta definição refere-se a mudanças de condições, a alterações do estado de um sistema e inclui duas ideias importantes: as modificações de estado implicam em vencer resistências e é justamente a energia que permite obter estas modificações de estado (SANTOS *et al*., 2006).

MORAN *et al.*, (2011) afirmam que energia pode ser armazenada dentro de sistemas sob várias formas assim como: energia cinética, energia potencial gravitacional, e energia interna. Pode ser transformada de uma forma em outra, ou transferida entre sistemas. Os autores afirmam também que, em sistemas fechados, a energia pode ser conduzida por transferência de calor ou por trabalho.

3.4 ENTALPIA

Levenspiel (2002), afirma que a entalpia é a energia total (H) de um corpo, expressa através da Equação:

$$H = U + pV \quad \text{(Equação 01)}$$

Sendo a energia interna (U) somada com o volume (V) do sistema à pressão (p). Em conformidade com Ieno e Negro (2004), não é possível calcular a energia contida em uma substância, mas sim a variação da entalpia mediante as suas reações. Os autores afirmam ainda que de acordo com a Lei de Hess, é possível definir a variação da entalpia que é dada pela entalpia final subtraído pela entalpia inicial de acordo com a Equação:

$$\Delta H = H_f - H_i \quad \text{(Equação 02)}$$

Essas reações podem ser endotérmicas em que absorvem calor, apresentando variação positiva, ou exotérmicas, em que liberam calor, apresentando uma variação de entalpia negativa. A entalpia de combustão é formada a partir de uma reação exotérmica, definida como a diferença entre a entalpia dos produtos e a entalpia dos reagentes quando ocorre combustão completa liberando um mol de substância a temperatura de 25 °C e 760 mmHg de pressão (GONÇALVES; SILVA; ARVELOS, 2017).

3.5 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Nussenzveig (2014), a transferência de calor pode ser estabelecida a partir da transmissão de energia de uma região para outra a partir da diferença de temperatura

presente. Essa propagação é representada em três processos distintos, sendo eles: a radiação, a convecção e a condução.

Na radiação, a transferência de calor ocorre de um ponto ao outro por meio de radiação eletromagnética, que, com luz visível, propaga-se mesmo através do vácuo. A radiação térmica é emitida por qualquer corpo aquecido, e, ao ser absorvida por outro corpo, pode aquecê-lo, convertendo calor (NUSSENZVEIG, 2014). A radiação ocorre com eficácia no vácuo e não necessita da existência de um meio material, diferente da transferência de energia que ocorre por condução e convecção (INCROPERA *et al.*, 2008). Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura normal, emite energia sob a forma de radiação eletromagnética. Sob uma temperatura considerada comum, em torno de 20 °C, quase toda a energia é transportada por ondas infravermelhas com comprimentos de onda muito maiores que os da luz visível (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

A convecção engloba dois mecanismos, a transferência de energia correspondente ao movimento aleatório das moléculas, e o outro, pelo movimento global do fluido (INCROPERA *et al.*, 2008). O contato é fundamental entre dois corpos ou pode-se ocorrer no interior de um corpo (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

A condução se dá devido as interações entre as partículas em uma substância, no qual ocorre a transferência de energia das partículas mais enfáticas para as partículas menos enfáticas (INCROPERA *et al.*, 2008). Neste processo, não existe movimento do próprio meio, pois ocorre mediante um meio material. Ao colocar um recipiente com água em contato com uma chama, ocorre a transmissão de calor para a água por meio da parede metálica do recipiente (NUSSENZVEIG, 2014).

O cobre é um elemento químico, identificado na tabela periódica pelo símbolo "Cu", apresentando como característica 8.940 $kg.m^{-3}$ de massa específica e ponto de fusão em 1084 ºC à pressão constante. Comparado com os metais comuns, o cobre apresenta alta classificação para condutividade térmica e elétrica (BARCELOS, 2010).

Na Tabela 2 é possível observar demais propriedades termofísicas do cobre.

Tabela 2- Propriedades termofísicas do cobre

Propriedades	**Propriedades a 27 ºC**
Calor específico	385 $J.kg^{-1}K^{-1}$
Condução térmica	394 $W.m^{-1}K^{-1}$

Fonte: Adaptada de MORAN, 2011.

3.6 PODER CALORÍFICO

O poder calorífico é um parâmetro que possibilita avaliar o potencial energético de combustíveis de biomassa (PROTÁSIO *et al.*, 2011). O poder calorífico inferior (PCI) é a quantidade de calor liberado pela queima, de modo que a água proveniente da queima esteja em estado gasoso a volume variável. Já o poder calorífico superior (PCS) é definido como a quantidade de calor liberado pela combustão, em que a água proveniente desta queima esteja em estado líquido realizada a volume constante (SILVA, 2012).

3.7 COMBUSTÍVEIS

Combustíveis são substâncias, sejam elas naturais ou artificiais, que ao se combinar quimicamente com outra, gera uma reação exotérmica rápida, desprendendo calor e luz (SANTOS *et al.*, 2006). A biomassa constitui uma das maiores fontes de energia primária, considerada a fração biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura, incluso as substâncias vegetais e animais (ANTUNES, 2008).

3.8 BALANÇO TÉRMICO

O processo de combustão consiste na reação química entre o hidrogênio e carbono presente na biomassa como oxigênio, geralmente proveniente do ar. Uma combustão eficiente é aquela em que todos os elementos combustíveis, carbono e hidrogênio, são totalmente transformados em dióxido de carbono e água (CARIOCA; ARORA, 1984).

Segundo Dantas (2010), para analisar as reações envolvidas na combustão, é levado em consideração os balanços térmicos e de massa. No balanço de massa, envolve as quantidades de ar e combustível necessários para a combustão ocorrer. O autor ainda afirma que, no balanço térmico são analisadas as quantidades de calor liberadas, a temperatura da combustão e a quantidade de calor perdido na exaustão. São características importantes da combustão a composição do combustível e sua temperatura, a pressão em que ocorre, seu estado e o formato da câmara de combustão (DANTAS, 2010).

3.9 SISTEMAS DE COMBUSTÃO

O aproveitamento de energia liberada na forma de calor no processo de combustão é a maneira mais antiga de utilização da biomassa para fins energéticos. Industrialmente, a conversão da biomassa em energia pode ser realizada a partir de fornalhas

(CARIOCA; ARORA, 1984), caldeiras também conhecidas como geradores de vapor e os fornos.

Existem diversos tipos de fornalhas para determinadas aplicações industriais e a sua seleção deve-se levar em conta o tipo de grau de preparação prévia da biomassa, a quantidade e parâmetros (pressão e temperatura) do vapor a ser produzido e a disponibilidade de capital (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008). As caldeiras são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia. Já os fornos são equipamentos destinados ao aquecimento de materiais com vários objetivos, sejam eles o cozimento, fusão, calcinação, tratamento térmico, secagem, dentre outros e independente de sua finalidade tem como característica transferir ao material o calor necessário gerado por uma fonte de calor (SANTOS *et al*., 2006).

Nas zonas rurais, a utilização da lenha para o funcionamento de fogões, continua sendo o combustível de maior importância como fonte de energia no preparo de alimentos (SCHAEFFER *et al.*, 2003). A combustão de lenha utilizada para tal finalidade possui baixa eficiência energética, tendo em vista que este combustível é queimado em sistemas abertos consistindo de pedra que apoia a panela, que se faz necessário portanto, o desenvolvimento de fogões rurais mais eficientes (CARIOCA; ARORA, 1984).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tratamento de Resíduos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Montes Claros, Norte de Minas Gerais. Os insumos foram fornecidos pela granja de suínos situada no Setor de Suinocultura do Instituto, onde se encontra instalado o biodigestor de modelo indiano (Figura 1). Foi montado um sistema de aquecimento de água com materiais reaproveitados e algumas peças novas.

Figura 1- Biodigestor modelo indiano do ICA em funcionamento

Fonte: Da autora, 2022.

Para a confecção do equipamento, foi adquirido por meio de doação, o botijão vazio de gás refrigerante modelo R22 (FIGURA 2), com as especificações de acordo a Tabela 3:

Figura 2 - Botijão vazio de gás refrigerante modelo R22

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 3 – Especificações e medidas do botijão vazio de gás refrigerante modelo R22

Especificações do botijão	Medida
Peso	3,24 kg
Espessura da chapa	0,15 cm
Comprimento das alças	7,5 cm
Comprimento do botijão	33 cm
Altura do botijão	24 cm
Largura do botijão	26 cm
Circunferência do botijão	80 cm
Capacidade de preenchimento	30 lb

Fonte: frigelar.com.br

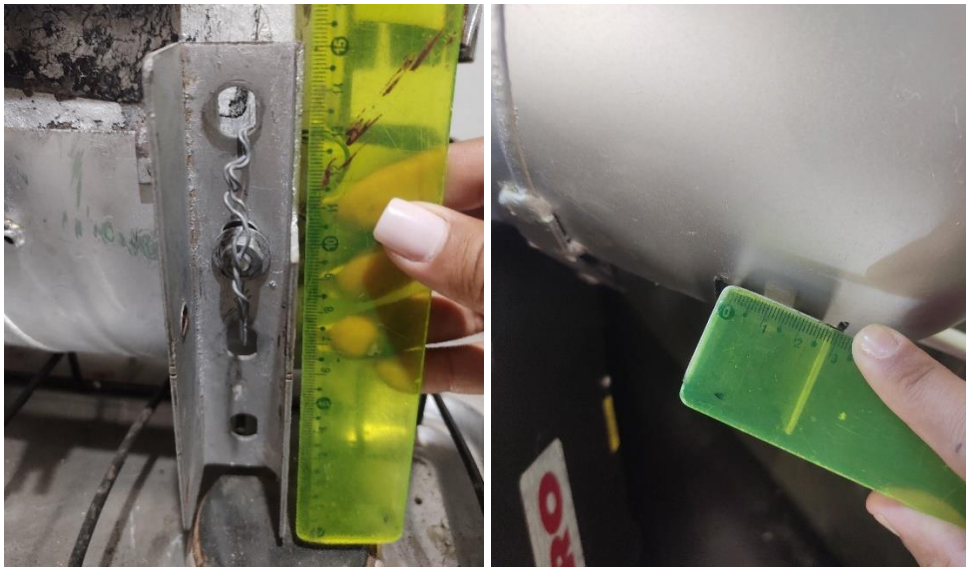
Realizou-se um corte transversal de forma simétrica no botijão, para facilitar a adaptação dos acessórios necessários para confecção do aquecedor (FIGURA 3).

Figura 3 - Etapa de corte transversal do botijão

Fonte: Da autora, 2022.

Na parte traseira da repartição inferior, adaptou-se dois suportes furados 15x2,9cm, com a função de prender o condensador e fixar o aquecedor na parede (FIGURA 4). Utilizou-se para esta fixação, dois parafusos sextavados, marca fixar, comprimento 39mm e diâmetro 8mm, contendo uma arruela lisa 5/8” e uma porca sextavada MA 8mm em cada parafuso.

Figura 4 - Adaptação dos suportes no botijão



Fonte: Da autora, 2022.

Instalou-se na repartição superior e inferior, um regulador de altura e um parafuso guia 8mm, para unir as repartições e controlar a posição da repartição superior (FIGURA 5).

Figura 5 - Instalação do regulador de altura no botijão

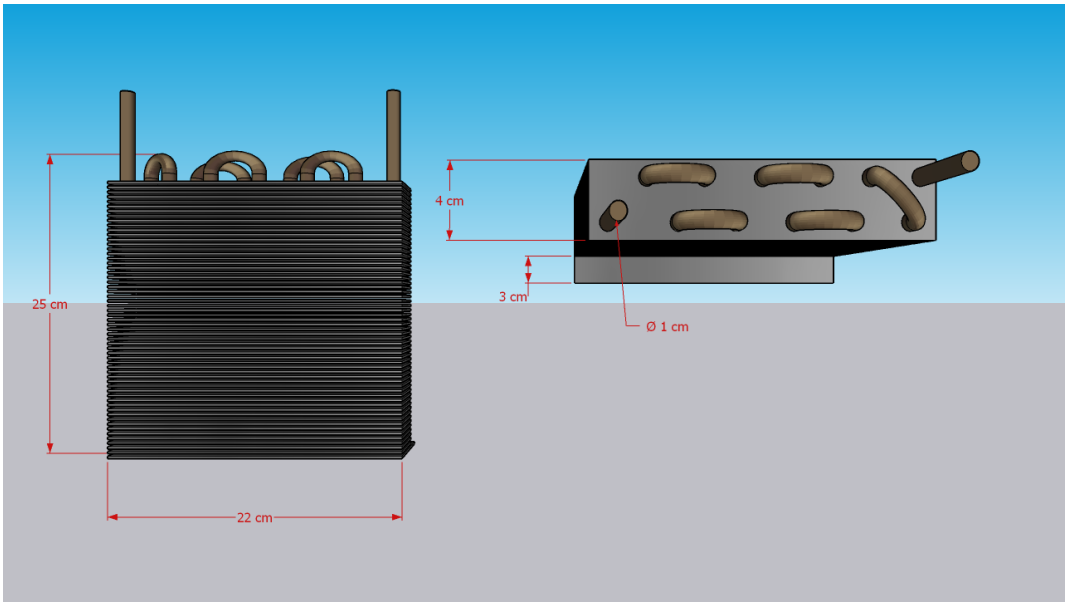
Fonte: Da autora, 2022.

Foi adquirido de um ferro velho o condensador de refrigeração (FIGURA 6) modelo não especificado, cujas as dimensões seguem de acordo a Figura 7. O condensador é composto por aletas e um tubo de cobre de Ø1cm, no qual confere ao equipamento uma seção transversal contínua. Foi realizado um alongamento na entrada e saída dos tubos, bem como testes para verificar se existiam buracos no tubo de cobre a fim de evitar vazamento de água

Figura 6 - Condensador de refrigeração adquirido no ferro velho

Fonte: Da autora, 2022.

Figura 7- Dimensões do condensador de refrigeração



Fonte: Da autora, 2022.

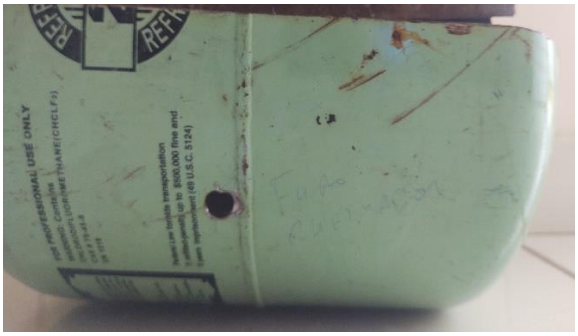
Na repartição superior do botijão, efetuou um corte circular central com diâmetro de Ø5,0cm na parte de cima, sendo possível acoplar uma chaminé, a partir de um tubo cilíndrico que possuía Ø5,0cm de diâmetro e 20,0cm de altura, em que foi fixado o chapéu de proteção de chaminé com Ø9,0cm de diâmetro e 2,0cm de altura (FIGURA 8).

Figura 8 - Desenvolvimento e instalação da chaminé

Fonte: Da autora, 2022.

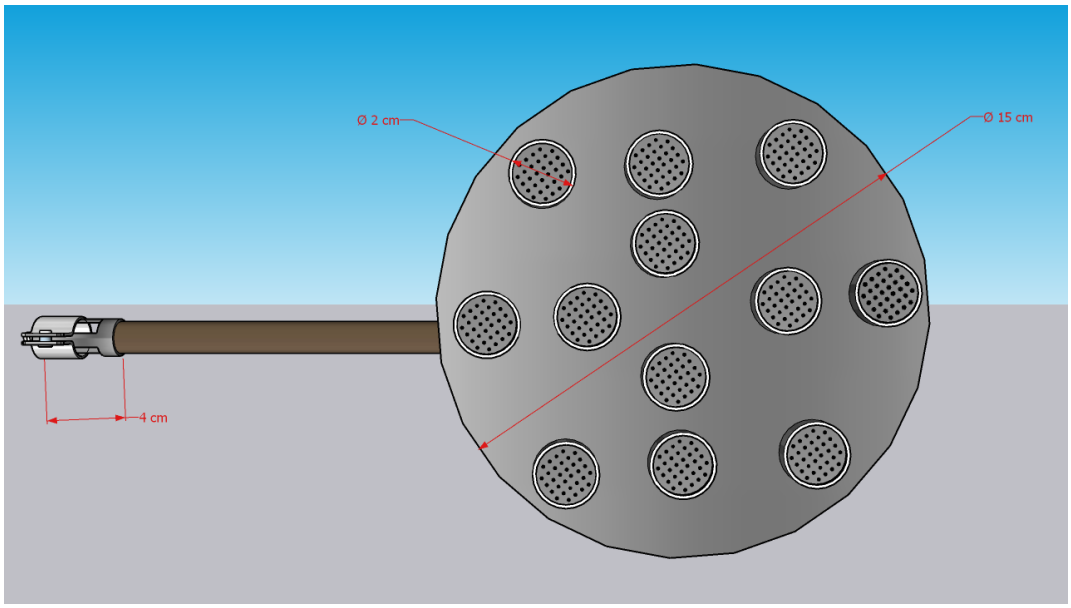
Na repartição inferior do botijão, foi feito um furo circular central com diâmetro de Ø 2,5cm (FIGURA 9), no qual foi instalado e adaptado um queimador de alta pressão, com 12 caulins de queima, adquirido de fogão industrial sem uso, à cano simples de 14,5cm, com dimensões de acordo a Figura 10.

Figura 9 – Furo circular central realizado na repartição inferior do botijão



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 10 – Queimador adquirido e adaptado para ser instalado na repartição inferior do botijão



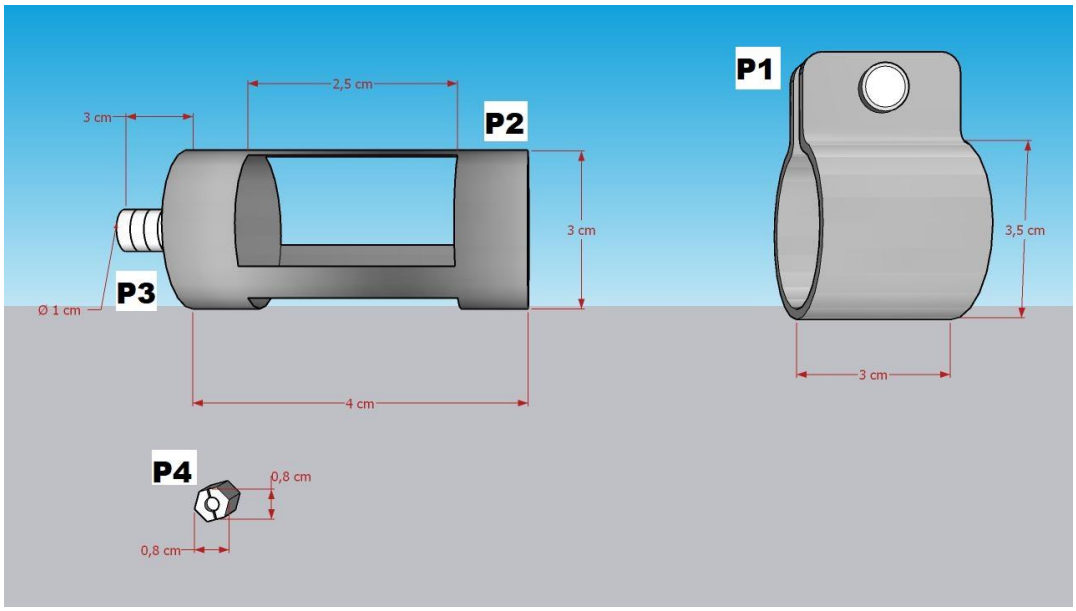
Fonte: Da autora, 2022.

Na extremidade do cano do queimador (FIGURA 11), foi instalado a válvula de entrada de ar (P2), bico injetor de gás com vazão de 2kg (P3), pino misturador de ar (P4) e fixado um regulador de oxigênio (P1), em conformidade as dimensões da Figura 12.

Figura 11 – Instalação da válvula de entrada de ar, bico injetor, pino misturador de ar e o regulador de oxigênio

Fonte: Da autora, 2022.

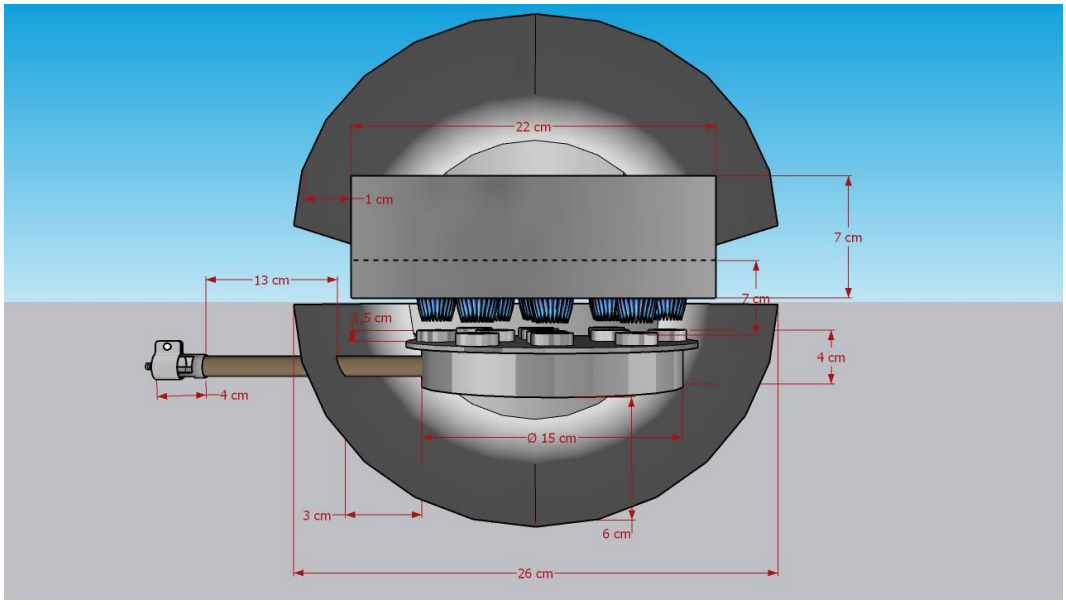
Figura 12- Dimensões da válvula de entrada de ar, bico injetor, pino misturador de ar e o regulador de oxigênio



Fonte: Da autora, 2022.

Foi instalado o condensador dentro do aquecedor de forma movível, de fácil remoção, possibilitando realizar manutenções futuras, de acordo as especificações e distância ideal do queimador, em evidência na Figura 13. O queimador foi colocado ao centro do aquecedor, na parte inferior, de forma fixa, evitando dissipação e perca de calor (FIGURA 13).

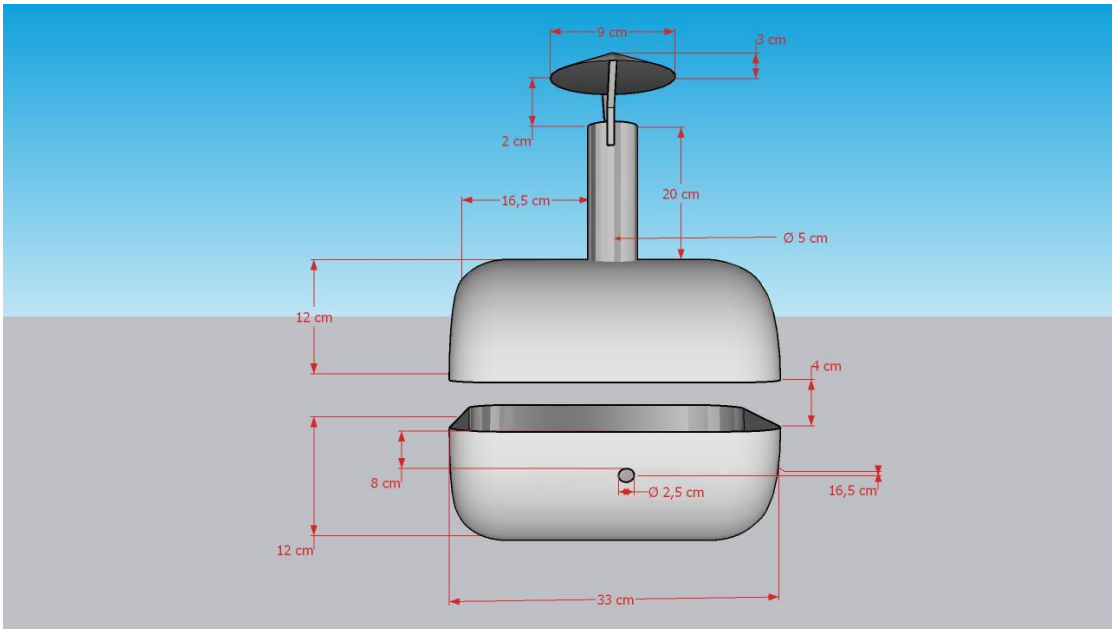
Figura 13 – Vista lateral do aquecedor, exibindo o condensador e queimador



Fonte: Da autora, 2022.

Finalizado o desenvolvimento e adaptações do aquecedor, foi realizado a pintura do equipamento utilizando a tinta spray de alta temperatura 400mL da marca Suvinil cor metálica. O equipamento obteve o seguinte aspecto e as respectivas dimensões, de acordo a FIGURA 14.

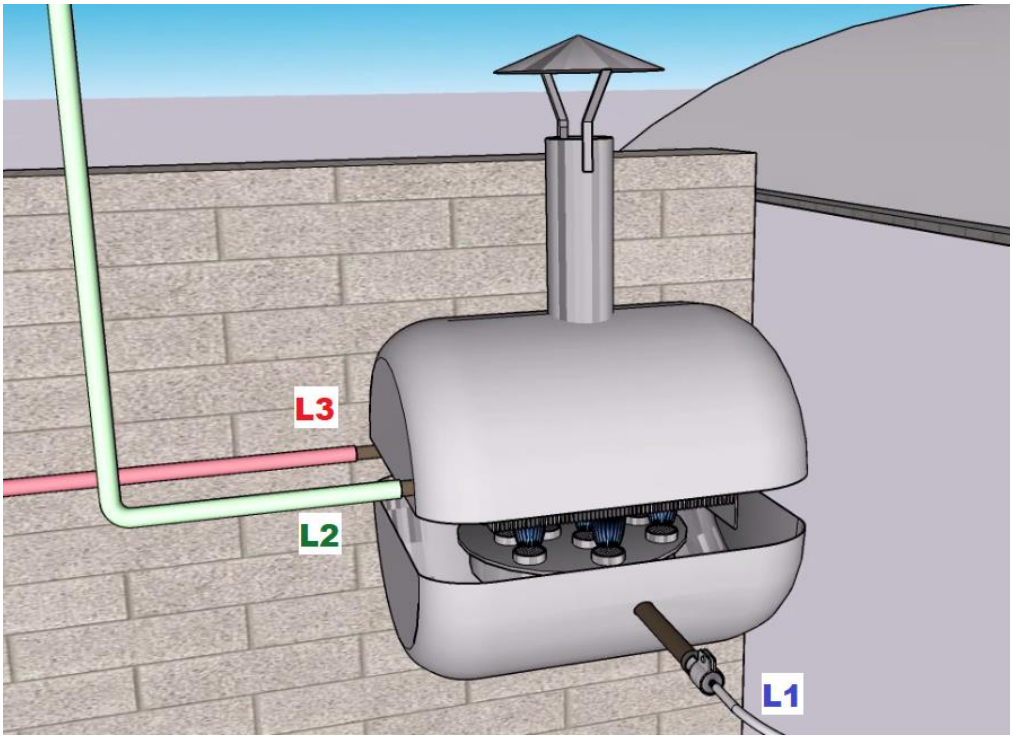
Figura 14 – Vista frontal do aquecedor e suas respectivas dimensões



Fonte: Da autora, 2022.

De acordo com a Figura 15, instalou-se na extremidade do queimador (L1) a mangueira de gás Pn 2,8kPa de 1,5m proveniente do biodigestor, enquanto fixou na entrada do condensador (L2) uma mangueira 3/4” comum de jardim de 1,5m proveniente da caixa d’água, e na saída do condensador (L3), a mangueira SPT 250 3/8” de 1,5m que suporta até 60ºC, no qual foi conectado no chuveiro Lorenzetti Max Ducha 127V - 5500W.

Figura 15 – Instalação e conexão das mangueiras referentes a passagem de água e biogás



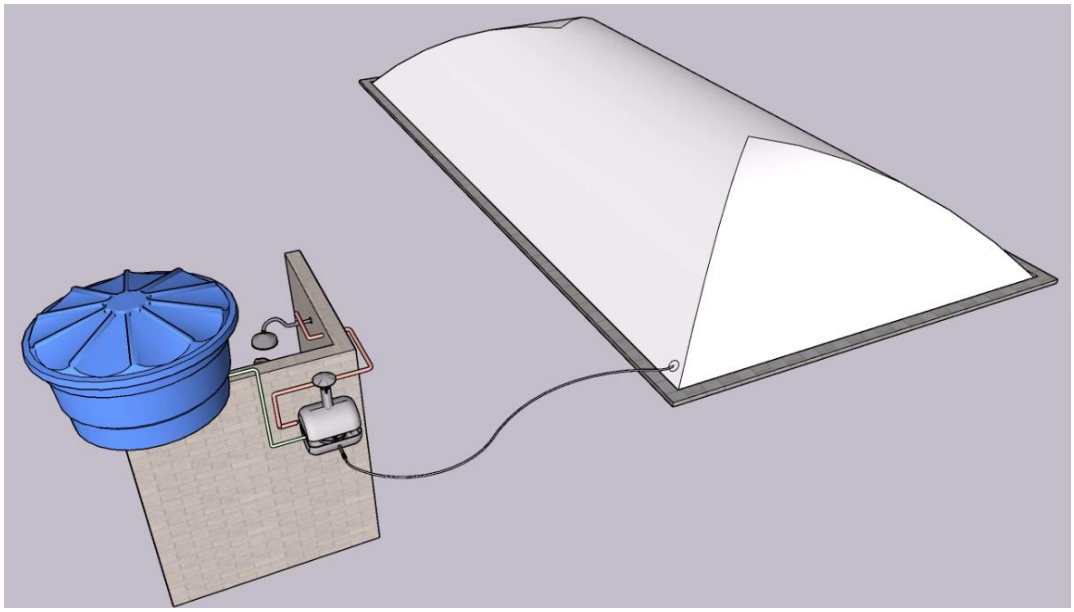
Fonte: Da autora, 2022.

Para realizar o experimento, foi necessário instalar o aquecedor na grade de segurança do Laboratório de Tratamento de Resíduos, de modo que ficasse próximo a torneira de água e saída de biogás, além facilitar o acesso e segurança das pessoas que fossem participar da coleta de dados (FIGURA 16), sendo possível simular a utilização do aquecedor de água a biogás, conforme a esquematização apresentada na Figura 17.

Figura 16 – Aquecedor instalado na grade de segurança do Laboratório de Tratamento de Resíduos

Fonte: Da autora, 2022.

Figura 17 – Esquematização do aquecedor de água a biogás integralmente instalado



Fonte: Da autora, 2022.

No dia 03 de maio de 2022, foi realizado quatro ensaios, que envolveram coleta da temperatura ambiente, a temperatura ambiente da água, a temperatura da água aquecida, a temperatura do aquecedor ligado e a vazão da água. Utilizou o chuveiro da marca Lorenzetti tradicional, 4.500w. No primeiro momento, para acionar o aquecedor, foi aberto a torneira para a saída de água, assegurando que o sistema do equipamento está livre para a passagem de água. Logo após, abriu a saída de gás e ativou o queimador por meio de um palito de fósforo, acendendo todos os caulins (FIGURA 18).

Figura 18 – Aquecedor de água a biogás em funcionamento para a realização dos testes

Fonte: Da autora, 2022.

Utilizou um termômetro culinário digital tipo espeto com haste de penetração de aço inox com 11,5cm de comprimento com faixa de medição de -50 a 200°C, e um béquer de vidro 1L. O béquer foi posicionando abaixo do chuveiro para a realizar a medida da temperatura da água (FIGURA 19).

Figura 19 – Realização do ensaio e medição da temperatura da água

Fonte: Da autora, 2022.

Foi posicionado uma bacia de plástico com capacidade de 30L no chão e abaixo do chuveiro, para armazenar a água. O equipamento era desligado de forma inversa, uma vez que fechava a saída de gás e posteriormente desligava a água da torneira. Posteriormente, utilizou-se o béquer para medir a quantidade de água que foi utilizada durante o armazenamento (FIGURA 20).

Figura 20 – Medição da água utilizando uma bacia e um béquer

Fonte: Da autora, 2022.

O primeiro ensaio foi realizado no horário de 10h12min às 10h17min a.m., no qual teve duração de 5 minutos. Foram coletados os dados de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Dados adquiridos no primeiro ensaio

Condições avaliadas	Dados coletados
Temperatura ambiente	30,4° C
Temperatura ambiente da água	23,5° C
Temperatura da água aquecida	38,8° C
Temperatura do aquecedor ligado	180° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

O segundo ensaio foi realizado no horário de 10h25min às 10h30min a.m., no qual teve duração de 5 minutos. Foram coletados os dados de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Dados adquiridos no segundo ensaio

Condições avaliadas	Dados coletados
Temperatura ambiente	30,4° C
Temperatura ambiente da água	23,5° C
Temperatura da água aquecida	39,6° C
Temperatura do aquecedor ligado	182,8° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

O terceiro ensaio foi realizado no horário de 10h36min às 10h41min a.m. e teve duração de 5 minutos. Foram coletados os dados de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Dados adquiridos no terceiro ensaio

Condições avaliadas	Dados coletados
Temperatura ambiente	30,4° C
Temperatura ambiente da água	23,5° C
Temperatura da água aquecida	39,9° C
Temperatura do aquecedor ligado	183,4° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

O quarto ensaio foi realizado no horário de 10h48min às 10h53min a.m. e teve duração de 5 minutos. Foram coletados os dados de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Dados adquiridos no quarto ensaio

Condições avaliadas	Dados coletados
Temperatura ambiente	30,4° C
Temperatura ambiente da água	23,5° C
Temperatura da água aquecida	39,4° C
Temperatura do aquecedor ligado	185° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

A propriedade atendida e contemplada com o aquecedor de água a biogás, está localizada na comunidade de Alvação, município de Mirabela-MG. O produtor rural Valney Soares, é proprietário do sítio no qual possui a renda principal em bovinocultura de leite, contando com 10 vacas leiteiras da raça holandesa. Possui um curral semicoberto e calcado no qual ordenha os animais duas vezes ao dia, conseguindo produzir aproximadamente 80 L de leite/dia. O curral está equipado com um biodigestor modelo indiano e recebe os dejetos dos animais uma vez ao dia. O biogás produzido consegue atender as demandas da residência, direcionando para o fogão de cozinha, e ficando ainda biogás estocado no biodigestor.

No dia 19 de julho de 2022, os acadêmicos do curso de Agronomia da Universidade Federal de Minas Gerais - Campus Montes Claros, Lud' Milla Melúcio Guedes e Cleilton Teixeira Viana, realizaram uma visita técnica para efetivar a entrega do aquecedor de água para o produtor rural, no qual repassaram todas as orientações necessárias para a instalação, o bom funcionamento do equipamento, bem como as etapas de acionamento e desligamento do aquecedor, além dos cuidados a serem considerados para a segurança dos moradores (FIGURA 21).

Figura 21 – Visita técnica na propriedade contemplada com o aquecedor de água a biogás

Fonte: Da autora, 2022.

No primeiro momento, realizou-se um teste de aquecimento da água com o chuveiro Lorenzetti Max Ducha 127V - 5500W conectado na energia elétrica, com duração de 5 minutos, entre 9h25min e 9h30min a.m., levando em consideração as condições avaliadas e coletando os dados descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados adquiridos com o chuveiro conectado na energia elétrica

Condições avaliadas	**Dados coletados**
Temperatura ambiente	33,6° C
Temperatura ambiente da água	28,0° C
Temperatura da água aquecida	40,0° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

Posteriormente, foi realizado o teste de funcionamento do equipamento (TABELA 9) junto ao produtor rural, com duração de 5 minutos, entre 10h20min e 10h25min a.m., no qual foi conectado o aquecedor na saída do biogás, na torneira de água e no chuveiro Lorenzetti Max Ducha 127V - 5500W. Verificou-se a viabilidade a partir das condições da propriedade para a instalação, bem como a demanda do produtor rural e atendimento das expectativas.

Tabela 9 – Dados adquiridos a partir do funcionamento do equipamento instalado na propriedade e acionado por biogás

Condições avaliadas	Dados coletados
Temperatura ambiente	33,6° C
Temperatura ambiente da água	28,0° C
Temperatura da água aquecida	39,8° C
Temperatura do aquecedor ligado	182,7° C
Vazão da água	5 L/min.

Fonte: Da autora, 2022.

De acordo com a relação das peças e componentes utilizados para a confecção do aquecedor de água a biogás, gerou o custo de R$254,00 no qual envolveu a aquisição de peças novas, a mão de obra do serralheiro para o desenvolvimento de peças, cortes para a fabricação do equipamento, soldagem e pintura. Os materiais recicláveis no qual foram reaproveitados para compor parte do equipamento, não geraram custo para a confecção do aquecedor. Teve duração de 8 meses para finalizar o desenvolvimento do equipamento.

Tabela 10 – Relação de peças e componentes utilizados para a confecção do aquecedor de água a biogás

Itens	Quantidade	Valor (R$)
Botijão vazio de gás refrigerante modelo R22	1 pç	doação
Chaminé	1 pç	confeccionada
Queimador 8 caulins adaptado com cano	1 pç	80,00
Caulin padrão de fogão industrial	4 pçs	14,00
Condensador de aquecimento	1 pç	20,00
Suporte para fixação na parede	2 pçs	peça reaproveitada
Parafuso com bucha de fixação 8mm	2 pçs	3,00
Parafuso 8mm	1 pç	1,00
Parafuso sextavado 3/8”	2 pçs	4,00
Arruela lisa 5/8”	2 pçs	0,70
Porca sextavada MA 8mm	2 pçs	1,20
Bico injetor de gás com vazão de 2kg	1 pç	7,00
Pino misturador de ar	1 pç	6,50
Válvula de entrada de ar	1 pç	confeccionada
Abraçadeira regulagem de ar	1 pç	confeccionada
Abraçadeira Rosca sem fim Aço 3/4"	4 pçs	peça reaproveitada
Mangueira de gás Pn 2,8kPa 1,5m	1 pç	8,80
Mangueira 3/4” comum de jardim 1,5m	1 pç	peça reaproveitada

Mangueira SPT 250 3/8” 1,5m	1 pç	7,80
Tinta spray de alta temperatura 400mL – Suvinil cor metálica	1 vidro	30,00
Mão de obra - Serralheiro	1 pessoa	70,00
TOTAL DE DESPESAS	**-**	**254,00**

Fonte: Da autora, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, os aspectos que foram levantados, analisados e acompanhados, permitem afirmar a total importância e a necessidade da existência de inovações no meio rural, de baixo custo e aproveitamento de matérias primas, quando possível. O biodigestor representa uma excelente alternativa tecnológica para o tratamento de dejetos gerados, bem como a utilização do biogás para atender as demandas internas das propriedades rurais.

O aquecedor alternativo de água a biogás desenvolvido para essa finalidade, desde o projeto de protótipo até a instalação final para funcionamento, passou por ajustes e adequações para ser possível atender a expectativa do produtor rural, ser viável financeiramente e de forma eficiente. De acordo Coimbra-Araújo e autores (2014), este tipo de aplicação possui soluções tecnológicas de mais baixo custo, sendo por isso mais recorrente em plantas de pequena e média escala, quando comparado para geração de energia elétrica e produção de biometano, por exemplo. Na pecuária, a aplicação ocorre normalmente no aquecimento dos animais, especialmente no sul do Brasil.

De acordo com os dados obtidos, todos os ensaios realizados apresentaram resultados satisfatórios evidenciando a eficiência do equipamento, quando comparado ao chuveiro Lorenzetti acionado por energia elétrica na residência do Sr. Valney, no qual foi possível aquecer a água em 40°C a um volume de 5L/min. O terceiro ensaio realizado no Laboratório de Tratamento de Efluentes se destacou por atingir 39,9°C a um volume de 5L/min, bem como o teste de funcionamento realizado na propriedade rural que atingiu 39,8°C a um volume de 5L/min, ambos por meio do aquecedor de água utilizando o biogás. Segundo Kieling (1996), um sistema de aquecimento de água tem como objetivo fornecer água na temperatura de conforto para banho em torno de 36ºC a 40°C, com exceção de algumas regiões que, com temperatura ambiente média elevada, é dispensável o uso desses equipamentos.

Vale ressaltar as condições adversas do dia em que foi realizado os testes no Laboratório de Tratamento de Resíduos e na propriedade rural. Em tais datas, estava ventando consideravelmente, e gerava interferência na eficiência interna do aquecedor, movimentando as chamas do fogo e dissipando o calor, bem como afetando nos resultados obtidos, no qual eram visíveis a olho nu, uma vez que a instabilidade de temperatura era apresentada no visor do termômetro no momento das medições.

Portanto, ao utilizar o aquecedor alternativo de água a biogás para atender as demandas internas da propriedade rural, deve-se atentar ao local de instalação, uma vez que o aquecedor esteja posicionado a uma altura superior ou igual ao chuveiro, em que deve estar

para o lado de fora da casa, por motivo de segurança e evitar inalação dos gases provenientes da exaustão. É importante o equipamento estar em local de pouco vento ou protegido, se atentando para não interromper completamente o ar que dá acesso ao sistema. Deve seguir as etapas de acionamento e desligamento do equipamento de forma assídua, sendo que para acionar, a água do chuveiro precisa estar ligada e assim efetivando o acendimento da chama. Para o desligamento, o procedimento é inverso, sendo necessário fechar o registro de gás e posteriormente desligar o chuveiro, para evitar explosão do sistema.

O aquecedor de água a biogás foi desenvolvido a baixo custo, no qual saiu para o produtor rural por apenas R$254,00. Foi feito um orçamento em uma loja de energia e aquecimento solar situada no município de Montes Claros-MG, no qual uma instalação completa de aquecedor solar seria de R$4.400,00. Portanto, evidencia o protótipo do aquecedor ser uma alternativa viável para compor as pequenas propriedades rurais, para aquecimento de água de chuveiro em detrimento ao uso de energia elétrica de forma parcial ou total a depender da produção de biogás, possibilitando economia considerável na conta de luz mensal.

6 CONCLUSÃO

- De acordo com a metodologia descrita, foi desenvolvido e construído um protótipo de aquecedor de água alternativo acionado por biogás, utilizando peças e materiais recicláveis para compor parte do equipamento, demonstrando ser de fácil adaptação e operação de forma segura;
- Foi monitorado as temperaturas do sistema e da água do chuveiro, bem como a mensuração da vazão de água. Ao comparar os resultados obtidos, evidenciou um funcionamento e desempenho satisfatório do aquecedor;
- Possibilitou apontar o aquecedor de água como um sistema alternativo de baixo custo para aquecimento de água utilizando biogás.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Instalar medidor de gás possibilitando medir o volume de gases combustíveis utilizados;
- Medir a pressão da água;
- Instalar sensores de temperatura possibilitando observar melhor o comportamento do sistema;
- Utilizar materiais refratários como isolante térmico no aquecedor;
- Poderá ser confeccionado um condensador de cobre em formato transversal para ocupar toda a região superior da repartição do aquecedor, para melhor aproveitamento da temperatura disponível;
- Sugere que o cano da chaminé seja maior em comprimento, de forma que a exaustão dos gases produzidos a partir da queima do biogás, possam dissipar mais distante das proximidades de onde o aquecedor seja instalado.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. **Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021.

ANTUNES, F. J. A. **Produção de combustíveis e de energia elétrica a partir da biomassa lenhocelulósica.** 2008. 49 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química). Universidade do Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59317/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

ARAÚJO, A. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 32 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO DOS GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIAIS DE ENERGIA E DE CONSUMIDORES LIVRES. Os impactos dos preços da energia elétrica e do gás natural no crescimento e desenvolvimento econômico. ABRACE. São Paulo, 2019.

BARBOSA, G; LANGER, M. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.** Unoesc e Ciência - ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.

BARCELOS, S. M. **Influência da temperatura e corrente de trabalho, nas características elétricas e mecânicas do cobre eletrolítico**. 2010. 78 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25847/000755190.pdf?..>. Acesso em: 11 nov. 2022.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física: FASE, 2003. 145 p.

CAMPBELL, B.; SALLIS, P. Low-carbon yak cheese: Transition to biogas in a Himalayan socio-technical niche. **Interface Focus**, v. 3, n. 1, 2013.

CARIOCA, J. O. B; ARORA, H. L. **Biomassa fundamentos e aplicações tecnológicas.** Fortaleza: UFC: BNB, 1984. 644 p.

COIMBRA-ARAÚJO, *et al*. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier. v. 40, p. 826–839, 2014.

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite.** In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6., 2006, Campinas. An 6. Campinas, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 13 nov. 2022.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. E. S; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. 734 p.

DANTAS, M. A. **Análise do desempenho de um queimador infravermelho funcionando com gás liquefeito de petróleo e glicerina.** Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo). Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12918>. Acesso em: 13 nov. 2022.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.45-50, 2002.

GONÇALVES, L. N.; SILVA, J. B.; ARVELOS, S. **Métodos de contribuição de grupos para a predição do poder calorífico de biodieseis.** Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 12, 2017, São Carlos, UFCar, 2017. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2017/369.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2022.

GUSMÃO, M. M. F. e C. de C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado – Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91616/258705.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 nov. 2022.

IENO, G; NEGRO, L. **Termodinâmica.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004, 227 p.

INCROPERA, P. F. *et al*. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama sobre o consumo de energia elétrica. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: Panorama do sistema elétrico brasileiro. Rio de Janeiro, 2019.

JANEZ, G. M. **Fontes alternativas de energia:** inovação e sustentabilidade na produção energética. 2017. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário Anhanguera, Pirassununga, 2017.

KIELING, R. R. **Projeto de Sistemas de Aquecimento:** hydrotherm. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 74 p. 1996.

LEVENSPIEL, O. **Termodinâmica amistosa para engenheiros**. Tradução José Luís Magnani, Wilson Miguel Salvagnini. São Paulo: Blucher, 2002. 323 p.

LYYTIMAKI, J. Renewable energy in the news: Environmental, economic, policy and technology discussion of biogas. **Sustainable Production and Consumption**, v. 15, p. 65–73, 2018.

MANUAL DE OSLO: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação. 2ª edição. Paris: OCDE, 1997.

MARIANI, L. **Biogás:** Diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil. Campinas SP: [s.n.], 2018.

MARQUES, S. M. A. *et al*. **Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGETe-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 3, p. 990-999, Set-Dez 2014.

MORAIS, B. C.; BARREIROS, I. Z. 2021 **A gestão da matriz energética no Brasil:** uma análise dos últimos 20 anos. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração Pública) - Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2021.

MORAN, M. J. *et al.* **Introdução à engenharia de sistemas térmicos: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. Tradução Carlos Alberto Biolchini da Silva. [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2011. 604 p.

NASCIMENTO, P. S. C; ACÁCIO L. C. **Soluções em Energia - Projeto de Biodigestor Residencial.** Trabalho de Disciplina (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <http://www.ufjf.br/eletrica_energia/files/2014/08/Proj.Integrador.SolucoesEnergia-PauloLuciana.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, 2: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014. 375 p.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Revista Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, out. 2006.

PORTO, B. H. C. **Impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás:** o caso do Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Ajuricaba. 2019. 160 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

PROTÁSIO, T. de P *et al.* Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113-122, abr. 2011.

OLIVEIRA, P. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: Embrapa- CNPSA, 1993. 188 p.

SANTOS, A. H. M. *et al.* **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. 3 ed. Itajubá: Eletrobrás; UNIFEI; FUPAI. 2006, 597p.

SANTOS, M. A. **O agronegócio brasileiro e o desenvolvimento sustentável**. Repositório do conhecimento (IPEA). Ano 13. Edição 87: 2017.

SCHAEFFER, R. *et al.* **Energia e pobreza: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil**. Santiago do Chile: CEPAL,série 60, set. 2003. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6421/1/S038528_pt.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SILVA, E. da. **Biomassa cultivada para produção de energia**: Estudo Comparativo entre Capim Elefante e Eucalipto com a incorporação da Energia Solar na Secagem. 2012. 94 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2012. Disponível em: < https://saturno.unifei.edu.br/bim/0039620.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SILVA, F. J. *et al.* Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 990-999, 2014.

SILVA, N. P.; FRANCISCO, A. C. **Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos:** um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná. Revista Nucleus, Paraná: F.E. Ituverava, v. 7, n. 2, p. 65- 82, out. 2010.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016. 374 p.

<https://www.frigelar.com.br/gas-refrigerante-r22-eos-cilindro-de-136kg/p/kit5121>. Acesso em: 05 nov. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INCIPIT VITA NOVA
7 DE SETEMBRO DE 1927