



# UNIFESSPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

EMERSON CUIMAR PAZ

**FÍSICA TÉRMICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR DIDÁTICO:** uma experiência  
com alunos do segundo ano do ensino médio.

MARABÁ-PA  
2021

PRODUTO EDUCACIONAL

**FÍSICA TÉRMICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR DIDÁTICO:** uma experiência com alunos do segundo ano do ensino médio.

EMERSON CUIMAR PAZ

Este Produto Educacional compõe o trabalho de Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Franciane Silva de Azevedo

Coorientador:

Prof<sup>º</sup>. Dr. Jeanderson de Melo Dantas

MARABÁ-PA  
2021

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação de materiais para o biodigestor didático.....	5
Figura 2: Tampas já com os furos. ....	6
Figura 3: Mangueira encaixadas nas tampas. ....	7
Figura 4: Garrafa menor utilizada como barreira para impedir a entrada de ar. ....	7
Figura 5: Manômetro conectado com a garrafa menor e com saída livre. ....	8
Figura 6: Biodigestor didático em funcionamento. ....	9
Figura 7: Esquema de biodigestor com manômetro de tubo aberto. ....	10
Figura 8: Relatório de dados físicos do funcionamento do biodigestor. ....	12
Figura 9: Gráfico Pressão X Temperatura. ....	12
Figura 10: Gráfico Volume X Data. ....	13
Figura 11: Gráfico Pressão X Altura de Coluna Líquida. ....	13
Figura 12: Gráfico Volume de Gás Produzido X Altura de Coluna Líquida. ....	14
Figura 11: Mapa conceitual com os principais conceitos envolvidos na aplicação do produto. .....	17

## SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	4
2 BIOSSEGURANÇA.....	4
3 MATERIAIS .....	5
4 COMO MONTAR O BIODIGESTOR DIDÁTICO .....	6
5 O MANÔMETRO .....	9
6 OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR .....	11
7 DINÂMICA DAS AULAS .....	14
REFERÊNCIAS .....	18

## 1 APRESENTAÇÃO

O presente Produto Educacional foi idealizado como uma alternativa para o ensino de Física de maneira prática, através de um biodigestor, e mediado pela Teoria da Aprendizagem Significativa. Esta proposta também pode contemplar uma abordagem interdisciplinar, visto que o funcionamento do biodigestor abrange as três áreas das ciências naturais.

O modelo utilizado para produto se aproxima mais de um modelo batelada. O modelo batelada é classificado como um biodigestor descontínuo, onde a carga de substrato é colocada para decomposição única, no início do processo, sendo retirada somente no final. A escolha desse modelo se deve a sua praticidade, visto que não necessita de muito espaço para o seu armazenamento. Os passos mostrando como montar e pôr em funcionamento serão apresentados na **seção 4**.

Como o biodigestor demanda um manuseio de material orgânico de diversas naturezas, seguindo o que está proposto no trabalho de SILVA (2015), é importante orientar quando a algumas noções de biossegurança.

## 2 BIOSSEGURANÇA

As noções de biossegurança são necessárias na aplicação do biodigestor didático pelo fato de ocorrer o manuseio de material orgânico, o que exige atenção de todos os envolvidos na aplicação. Segundo Teixeira e Valle (2010), biossegurança é o conjunto de ações voltadas a prevenção, minimização ou eliminação de riscos presentes nas atividades de pesquisa, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, riscos estes que podem contaminar o meio ambiente, a saúde de animais ou humanos envolvidos. Segundo SILVA (2015, p. 139), alguns cuidados são necessários se os procedimentos estiverem comprometidos com a biossegurança:

- Lavar as mãos antes e após os procedimentos.
- Nunca levar nada à boca ou inspirar produtos.
- Descartar material segundo as normas legais.
- Usar luvas se estiver com rachaduras ou ferimentos nas mãos.
- Utilizar óculos quando executar procedimentos que produzam borrifos de microrganismos ou de materiais perigosos.

- Cuidados com objetos cortantes.
- Utilizar para desinfecção de ambiente, materiais ou mãos, álcool a 70% ou hipoclorito de sódio a 1%.

Se funcionar pelo período necessário para a produção de biogás, o biodigestor poderá produzir gás inflamável (Metano). O professor pode fazer o teste de chama para mostrar a produção de gás inflamável, mas para uma atividade remota feita pelos alunos, propõe-se objetivar apenas aferir as medidas de produção de gás, não a produção de gás inflamável. Essa atitude visa não expor os alunos ao perigo de incêndios, caso ocorra a produção de metano. Dessa forma, devem ser orientadas as seguintes medidas de segurança (SILVA, 2015):

- Armazenar em locais bem ventilados, secos e resistentes ao fogo.
- Proteger o biodigestor do calor e da radiação direta.
- Manter as garrafas presas de modo a não caírem.
- Controlar a pressão interna do biogás.

Além dessas medidas, o biodigestor deve ser armazenado longe do alcance de crianças, animais e fogo.

### 3 MATERIAIS

Figura 1: Relação de materiais para o biodigestor didático.

#### BIODIGESTOR DIDÁTICO – MATERIAIS

1. 01 garrafa de água mineral de 5,0 L, PET de 2,5 L ou de 2,0 L (com tampa).
2. 01 garrafa PET de 600 ou 500 ml (com tampa).
3. 01 metro de mangueira transparente de 1/4 polegadas.
4. 1,5 metros de mangueira transparente de 3/16 polegadas.
5. 01 bico de câmara de pneu com rosca.
6. 01 caixa pequena de Durepoxi.
7. 01 pedaço de 4x4 cm de borracha de câmara de pneu.



Os materiais acima podem ser encontrados com relativa facilidade. A opção pela garrafa PET de 5,0 litros ou de 2,5 litros fica a critério do aluno, sendo necessário apenas fazer as correções de proporção para o substrato.

#### 4 COMO MONTAR O BIODIGESTOR DIDÁTICO

Para a montagem do biodigestor didático, segue o tutorial abaixo com os passos.

- **PASSO 1: Fazer os furos nas tampas das garrafas:** fure as tampas da garrafa maior (5L) e da menor (600 ml).
  - Na garrafa maior faça um furo para encaixe, sem folgas, do bico de pneu. Use uma tesoura para fazer o furo. Coloque um pedaço de borracha de câmara de pneu de bicicleta, para evitar vazamentos. Use uma chave 12 mm para fazer o aperto.
  - Na tampa da garrafa menor, faça dois furos: um para encaixe, sem folgas, da mangueira de 1/4", outro para a mangueira de 3/16".

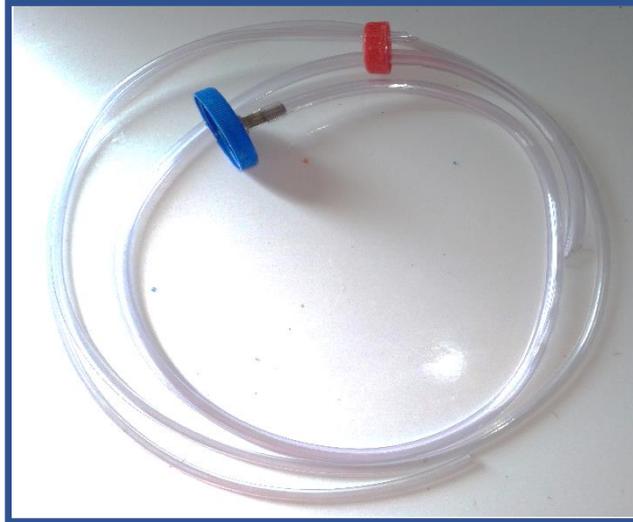
**Figura 2:** Tampas já com os furos.



Fonte: Autor (2021).

- **PASSO 2: Encaixar as mangueiras nas tampas:** encaixe as mangueiras nas tampas. Uma extremidade da mangueira de 1/4" ficará na tampa maior, a outra na tampa menor (deixar cerca de 12 cm passando pelo lado de dentro, conforme a **figura 2**). A mangueira de 3/16" ficará com uma extremidade fixa na tampa menor e a outra extremidade livre. Utilize a massa de Durepoxi para vedar as saídas das mangueiras. É importante vedar as saídas para impedir a entrada de ar, o que pode atrapalhar o processo de biodigestão.

**Figura 3:** Mangueira encaixadas nas tampas.



Fonte: Autor (2021).

- **PASSO 3: Colocar água na garrafa menor:** colocar água até mais ou menos a metade da garrafa. A água impedirá que o ar passe para a câmara do biodigestor. É importante medir a quantidade de água colocada para se ter o volume livre onde o gás produzido ficará armazenado.

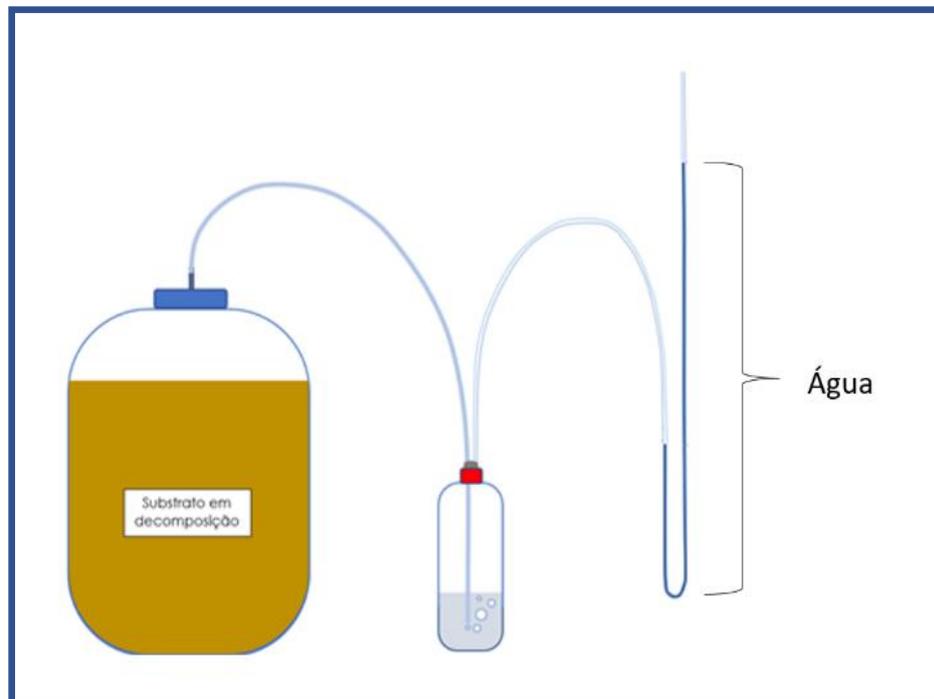
**Figura 4:** Garrafa menor utilizada como barreira para impedir a entrada de ar.



Fonte: Autor (2021)

- **PASSO 4: Encontre um lugar arejado, protegido da luz solar, para armazenar o biodigestor:** armazene o biodigestor em um lugar arejado, longe de animais e crianças, onde se possa fazer as leituras do manômetro.
- **PASSO 5: Monte o manômetro:** o manômetro é constituído pela mangueira de 3/16" com água, conforme o esquema abaixo. A utilização do manômetro para a medida de produção de gás será apresentada na **secção 5**.

**Figura 5:** Manômetro conectado com a garrafa menor e com saída livre.



**Fonte:** Autor (2021).

- **PASSO 6: O substrato:** O substrato é a composição orgânica que será decomposta no interior do biodigestor. Para esse material, pode-se utilizar qualquer resíduo orgânico, porém deve-se observar a presença de substâncias tóxicas ou de difícil digestão (ALVES, IOUANE & BORGES, 2010). Para o substrato do biodigestor didático, utilizou-se uma mistura genérica de fezes de boi frescas misturadas com água, na proporção de 1 litro de água para cada 1kg de fezes, conforme proposto por Barreira (*apud* ALVES, IOUANE & BORGES 2010). Como as fezes de gado frescas são de difícil acesso por parte da maioria dos alunos, para os biodigestores montados por eles, pode-se sugerir a arrecadação de sobras de alimentos ou legumes, e misturar na

proporção de 1:1 com água, triturando bem para que o processo de biodigestão ocorra mais rapidamente.

- **PASSO 7: Carregar o biodigestor com a carga de substrato:** Após misturar bem o substrato, colocar o mesmo no biodigestor. O acompanhamento do processo de produção gasosa será feito por meio da leitura diária do manômetro de tubo aberto. As observações referentes as mudanças na coloração, ou presença de bolhas, ou fungos, serão anotadas em um relatório de observação (**Apêndice III**).

**Figura 6:** Biodigestor didático em funcionamento.



**Fonte:** Autor (2021).

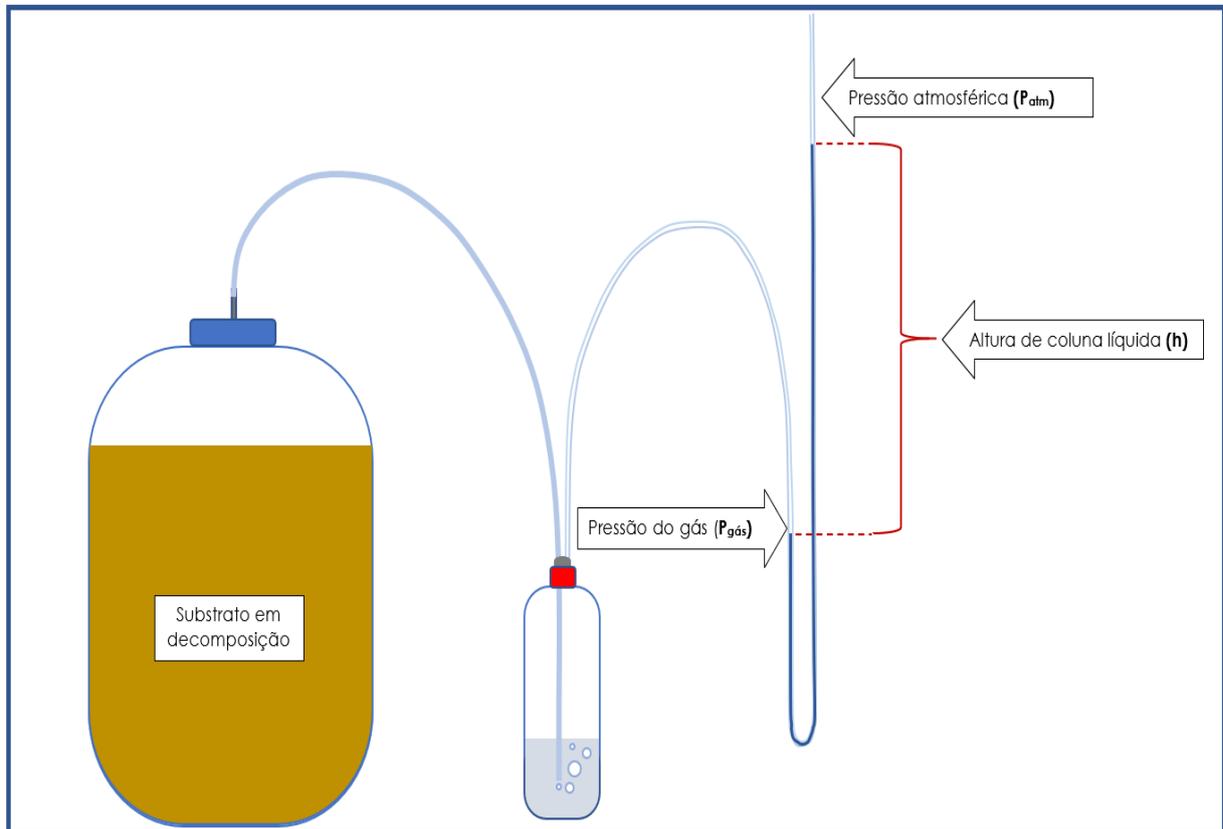
## 5 O MANÔMETRO

A pressão é um fator fundamental para o estudo do funcionamento do biodigestor. A partir do princípio de vasos comunicantes, um manômetro de tubo aberto fornecerá a pressão

quando acoplado à saída de biogás. O conteúdo de vasos comunicantes faz parte do assunto hidrostática, que nos livros didáticos vem no primeiro ano do ensino médio, bem como no currículo da escola onde o produto foi aplicado. Logo, talvez seja necessária uma revisão ou mesmo uma breve introdução, para que os alunos possam medir a pressão no manômetro.

O manômetro de tubo aberto contém um líquido de densidade  $\mu$  (no nosso caso, a água). Uma das extremidades fica conectada ao recipiente que se quer medir a pressão  $P$ , e a outra extremidade fica aberta para a atmosfera, onde a pressão é  $P_{atm}$ . Para o biodigestor proposto nesta dissertação, com fins didáticos, se fez uso de uma garrafa pequena para o cálculo da pressão e do volume de gás produzido. Logo, a pressão na garrafa pequena é a pressão do próprio gás no recipiente, logo  $P = P_{gás}$ .

**Figura 7:** Esquema de biodigestor com manômetro de tubo aberto.



**Fonte:** Autor (2021).

Da figura acima, concluímos que a pressão  $P_{gás}$  equivale a  $P_{atm} + a$  pressão exercida pela altura  $h$  de coluna de água, dada por:

$$P_{gás} = P_{atm} + \mu gh \text{ (equação 1)}$$

Pela equação acima, observa-se que, quanto maior for a altura da coluna de água, maior será a pressão dentro da garrafa pequena. A partir da equação geral dos gases ideais, visto

anteriormente, podemos chegar também ao volume de gás produzido em determinado período de tempo, conforme proposto no trabalho de Metz (2013), e adaptado a seguir.

$$PV = nRT \text{ (equação 2)}$$

Transferindo a temperatura  $T$  para o primeiro membro, no segundo membro teremos uma constante, que será considerada para todo o processo. Considerando as variáveis da parte interna da garrafa pequena (INT) e a parte externa (EXT), temos:

$$\frac{P_{INT}V_{INT}}{T_{INT}} = \frac{P_{EXT}V_{EXT}}{T_{EXT}} \text{ (equação 3)}$$

Considerando que o gás na garrafa pequena está em equilíbrio térmico com o meio externo, temos  $T_{EXT} = T_{INT}$ , e ainda considerando  $P_{EXT} = P_{atm}$ , temos:

$$P_{atm}V_{EXT} = P_{INT}V_{INT} \text{ (equação 4)}$$

Assim, considerando  $P_{gás} = P_{INT}$ , podemos encontrar  $P_{INT}$  pela **equação 1**. O volume externo  $V_{EXT}$  equivale ao volume que o gás ocuparia se estivesse submetido a pressão atmosférica. Logo, podemos achá-lo por:

$$V_{EXT} = \frac{P_{INT} \cdot V_{INT}}{P_{atm}} \text{ (equação 5)}$$

O volume interno  $V_{INT}$  equivale ao volume livre dentro da garrafa pequena que deve ser anotado durante a montagem do biodigestor. Assim, podemos obter a produção efetiva de gás ( $\Delta V$ ) subtraindo o  $V_{INT}$  do  $V_{EXT}$ . Dessa forma, temos:

$$\Delta V = V_{EXT} - V_{INT} \text{ (equação 6)}$$

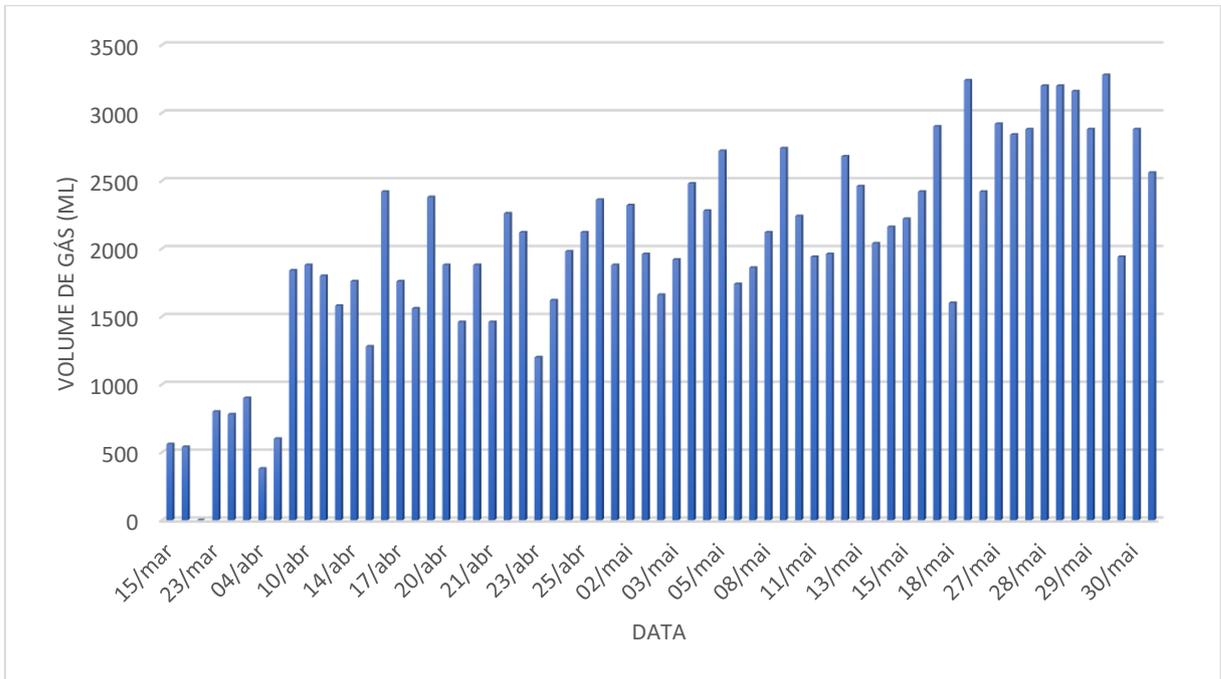
## 6 OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR

Para o funcionamento do biodigestor, é necessário inserir a carga de substrato. Para o biodigestor didático, propõe-se um substrato genérico, formado por esterco fresco de bovino e água, na proporção de 1kg de esterco para 1litro de água (Barreira, 1993, *apud* ALVES, IOUANE & BORGES, 2010). Utilizando-se uma garrafa de 5 litros (**secção 3**), a composição do substrato (na proporção sugerida anteriormente) fica: 2 kg de esterco fresco + 2 litros de água, totalizando cerca de 4 litros de substrato, deixando um volume de cerca de 1 litro livre.

Os dados relacionados ao substrato devem ser anotados em um formulário específico, bem como as medidas diárias para a análise da produção de gás (temperatura, pressão, volume, além das características físicas do substrato, como por exemplo, a cor).

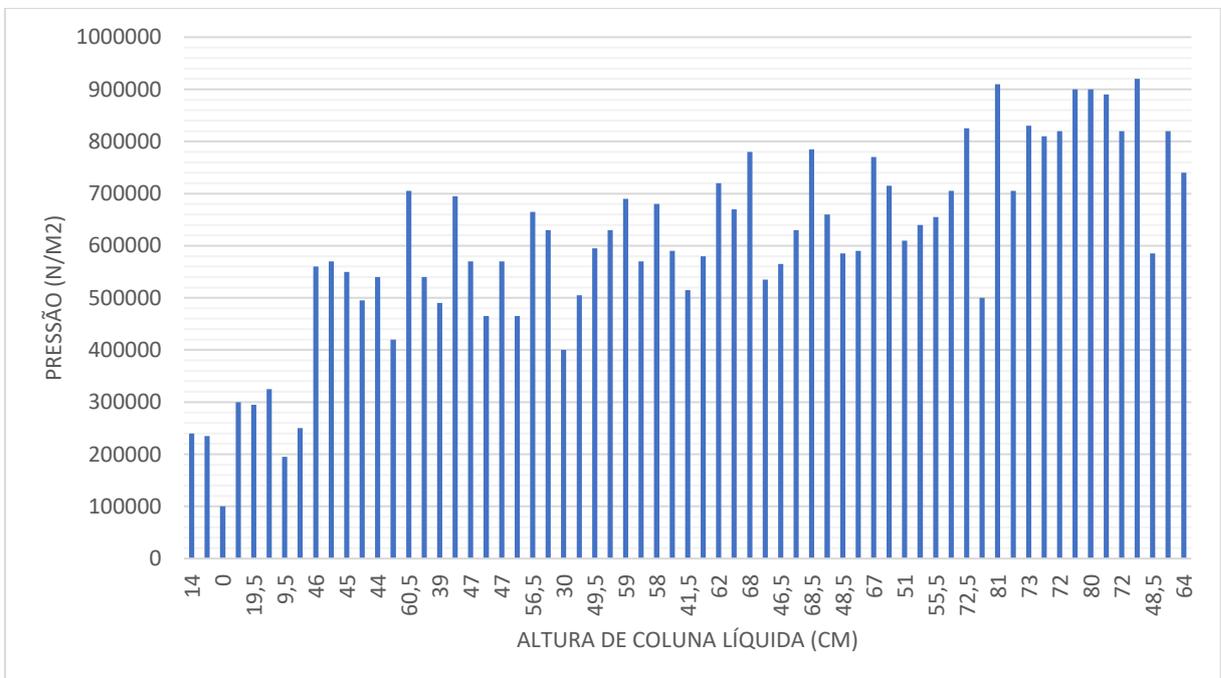


**Figura 10:** Gráfico Volume X Data.

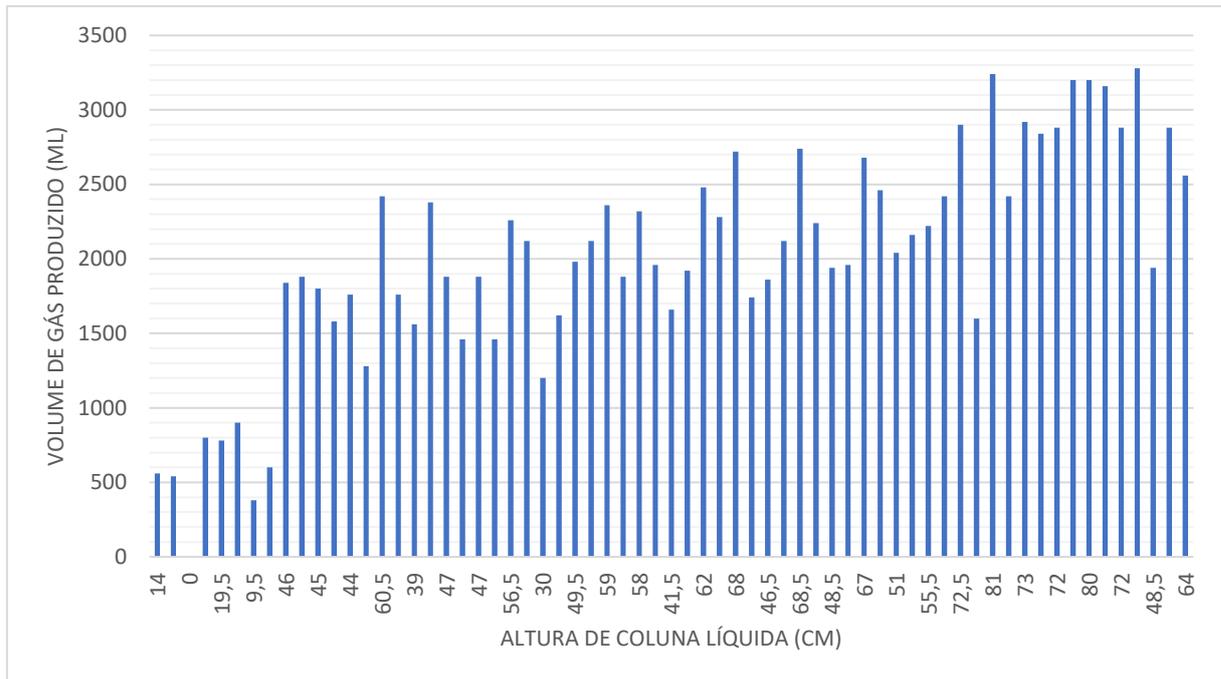


**Fonte:** Autor (2021).

**Figura 11:** Gráfico Pressão X Altura de Coluna Líquida.



**Fonte:** Autor (2021).

**Figura 12:** Gráfico Volume de Gás Produzido X Altura de Coluna Líquida.

**Fonte:** Autor (2021).

Os gráficos acima podem ser explorados pelo professor para contextualizar os assuntos ministrados em classe como, por exemplo, a relação entre pressão e altura de coluna líquida, pressão e volume dos gases, pressão e temperatura e etc.

## 7 DINÂMICA DAS AULAS

A sequência das aulas segue os objetos de conhecimento que compõem o componente curricular Física. Porém, o processo de biodigestão em si não é exclusivo do biodigestor. Tal processo abrange aspectos biológicos, físicos e químicos, podendo ser explorados por qualquer uma das ciências naturais. Dessa forma, é importante mostra para o estudante o que de fato ocorre na biodigestão: transformação de energia. Assim, ele deverá perceber que as reações termonucleares que ocorrem no Sol liberam energia luminosa para a Terra, que é absorvida na fotossíntese e transformada em biomassa. Essa biomassa é que sofre digestão anaeróbica, sendo reutilizado o que sobrou da energia (que percorreu os níveis tróficos) para produzir biogás e biofertilizantes. Sendo assim, abaixo tem-se os conteúdos desenvolvidos em sala de aula durante a aplicação do biodigestor.

### 1ª AULA – BIODIGESTORES

- Biodigestão aeróbia e anaeróbia: conceitos, diferenças e exemplos.
- Tipos de Biodigestores.
- Composição do biogás.
- Estágios de formação do biogás.
- Equivalência energética do biogás.
- Fatores que influenciam na digestão anaeróbica.

ATIVIDADE: Mapa conceitual da aula.

### 2ª AULA: CALOR E TEMPERATURA.

- Temperatura.
- Equilíbrio térmico.
- Energia térmica.
- Calor.
- Calor sensível.
- Calor específico.
- Capacidade térmica.
- Processos de transmissão de calor.

ATIVIDADE: Exercícios e mapa conceitual da aula.

### 3ª AULA: MEDIDA DE PRESSÃO NO MANÔMETRO – LEI DE STEVIN

- Pressão.
- Pressão atmosférica.
- Lei de Steven.
- Vasos comunicantes.
- Medida de pressão num manômetro de tubo aberto.

ATIVIDADE: Exercícios

### 4ª AULA: MUDANÇAS DE ESTADOS FÍSICOS.

- Estados físicos da matéria.
- Mudanças de estado físico.
- Calor latente.
- Curvas de aquecimento e resfriamento.

- Diagrama de fases.
- Diferenças entre gás e vapor.

#### 5ª e 6ª AULAS: ESTUDO DOS GASES

- Características dos gases ideais.
- Transformações isotérmicas.
- Transformações isobáricas.
- Transformações isovolumétricas.
- Lei geral dos gases.
- Equação de Clapeyron.
- Medida de produção de biogás a partir da lei dos gases.

ATIVIDADES: Exercícios e mapa conceitual.

#### 7ª AULA: NOÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA NA NATUREZA.

- Origem da energia transformada na fotossíntese: a luz solar.
- Componentes bióticos e abióticos.
- Cadeia alimentar.
- Níveis tróficos.
- Produtores, consumidores e decompositores.

ATIVIDADE: Exercícios e mapa conceitual.

#### 8ª AULA: AULA COMPLEMENTAR: o problema do lixo e da energia.

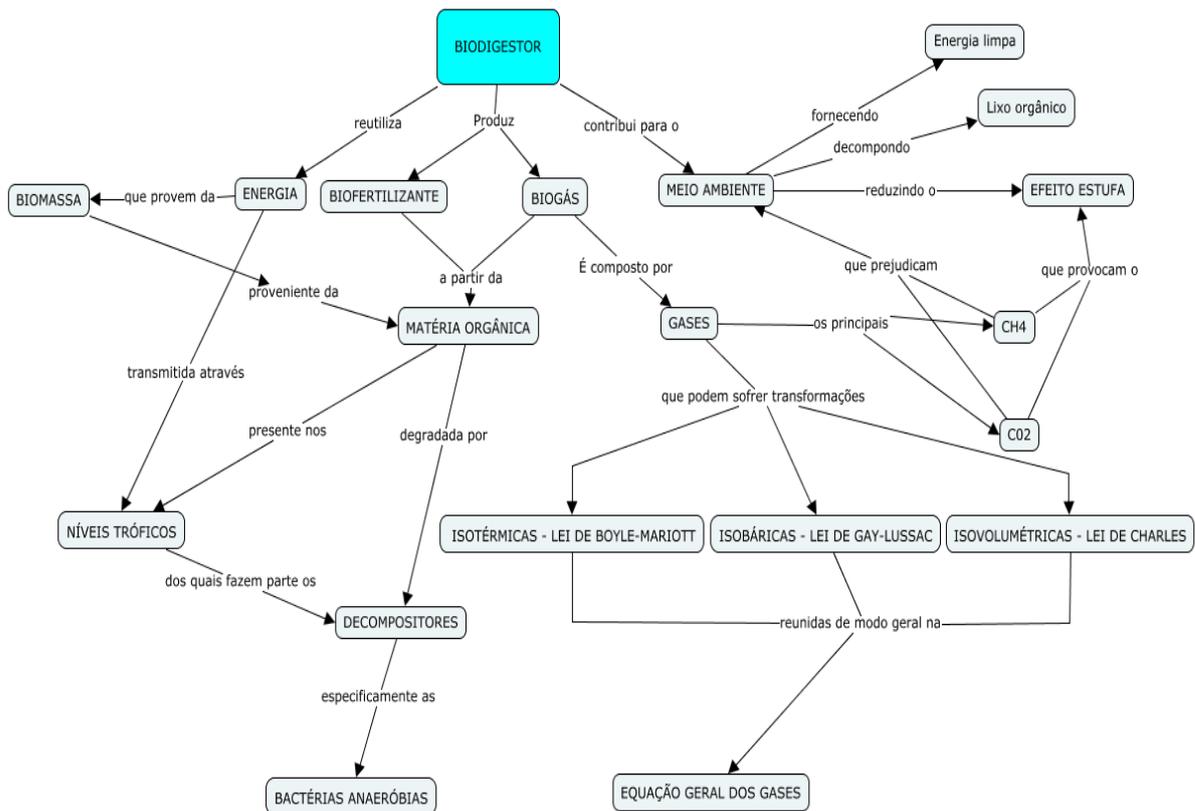
- Impactos ambientais do lixo na natureza.
- O biodigestor como uma solução para a decomposição de lixo orgânico.
- Conservação da Energia.
- Fontes de energia: renováveis e não renováveis.
- Os impactos ambientais causados pelo uso e obtenção de fontes de energia.
- O biodigestor como uma solução para a obtenção de energia limpa.

ATIVIDADE: Mapa conceitual da aula.

A disposição dos conteúdos por aula foi feita com base em uma aula de 1 hora por semana (de acordo com o programa da escola devido à pandemia do Covid-19), podendo ser modificado de acordo com o cronograma da disciplina. Vale ressaltar aqui que o funcionamento

do biodigestor requer tempo para que possa ser observado a atividade de produção de gases e feito as anotações. Nesse período, as aulas serão ministradas normalmente, seguindo os conteúdos expostos anteriormente. É importante o professor estabelecer conexões com o funcionamento do biodigestor. Por exemplo, quando tratar da biodigestão anaeróbica, destacar também que ela ocorre na natureza, não somente no biodigestor. É importante também ressaltar o valor do biodigestor para o meio ambiente. Para isso, o aluno deve entender que o uso do biodigestor como alternativa para produção de gás e biofertilizantes está pautado na transformação da energia na natureza. A seguir, está um mapa com os principais assuntos que se espera serem assimilados significativamente pelo aluno.

**Figura 11:** Mapa conceitual com os principais conceitos envolvidos na aplicação do produto.



**Fonte:** Autor (2021).

## REFERÊNCIAS

ALVES, Elton Eduardo; INOUE, Keles Regina Antony; BORGES, Alisson Carraro. **Biodigestores**: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262565096\\_Biodigestores\\_construcao\\_operacao\\_e\\_usos\\_do\\_biogas\\_e\\_do\\_biofertilizante\\_visando\\_a\\_sustentabilidade\\_das\\_propriedades\\_rurais](https://www.researchgate.net/publication/262565096_Biodigestores_construcao_operacao_e_usos_do_biogas_e_do_biofertilizante_visando_a_sustentabilidade_das_propriedades_rurais)> Acesso em: 27 jun. 2019.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. Monografia (Especialista) – Universidade Federal de Lavras. 2013.

SILVA, Z. R. **O ensino de Ecologia mediado pelo conceito unificador energia**: O biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar 2015. Dissertação Mestrado 160 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2015. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1347>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

TEIXEIRA, P., e VALLE, S., orgs. *Biossegurança*: uma abordagem multidisciplinar [online]. 2ª ed. rev. and enl. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2010.