



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

MATHEUS NASCIMENTO CARVALHO

**O BIODIGESTOR NO ENSINO DE FÍSICA: ROTEIRO DE APRENDIZAGEM PARA
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

TERESINA-PI

2023

MATHEUS NASCIMENTO CARVALHO

O BIODIGESTOR NO ENSINO DE FÍSICA: ROTEIRO DE APRENDIZAGEM PARA
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de licenciatura em Física do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina-Central.

Orientador: Prof. Me. Etevaldo Macedo
Valadão

TERESINA-PI

2023

MATHEUS NASCIMENTO CARVALHO

O BIODIGESTOR NO ENSINO DE FÍSICA: ROTEIRO DE APRENDIZAGEM
PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de
licenciatura em Física do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina-Central.

Aprovada em: 13/03/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Etevaldo Macedo Valadão (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. José Ricardo Rodrigues Duarte
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profª. Ma. Teresinha Vilani Vasconcelos de Lima
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

O BIODIGESTOR NO ENSINO DE FÍSICA: ROTEIRO DE APRENDIZAGEM PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Matheus Nascimento Carvalho¹
Etevaldo Macedo Valadao²

RESUMO

O Ensino de física vem passando por mudanças para acompanhar o que acontece na sociedade. Mudanças sociais têm levado a alterações significativas de percepção no processo de ensino-aprendizagem. Desta forma, algumas questões como as metodologias ativas apresentam mudança na relação entre professor, aluno e conhecimento. O aluno torna-se o protagonista e o professor atua como orientador, supervisor e facilitador do processo, produzindo aprendizagens mais significativas. Este artigo tem como principal objetivo desenvolver um roteiro de aprendizagem através de aulas práticas para o estudo de gases através de um biodigestor com foco em uma aprendizagem significativa, na área de ciências da natureza. Considera-se, portanto, que a utilização da aprendizagem através de roteiros de aprendizagem bem planejados e que sigam uma sequência lógica corroboram com a construção de competências, pois favorecem o engajamento e autonomia dos estudantes. Nesse sentido, espera-se que este estudo possa colaborar com o entendimento sobre a temática e incentivar a adoção de práticas organizacionais e metodológicas com intuito de melhorar a qualidade do ensino e da aprendizagem dos alunos. A aprendizagem baseada em roteiros de aprendizagem é uma boa forma de fazer com que o aluno construa novos conhecimentos a partir do momento em que o professor traz para dentro do ambiente escolar, um problema relacionado com as vivências destes estudantes, assim estimulando-os com uma aprendizagem que faça sentido. Verifica-se que através dessa nova perspectiva na maneira de ensinar estimula-se o desenvolvimento e a possibilidade de tornar a aprendizagem dos estudantes mais significativa.

Palavras-chave: Biodigestor; Gases; Roteiro de aprendizagem; Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

Physics teaching has been undergoing changes to keep up with what is happening in society. Social changes have led to significant changes in perception in the teaching-learning process. In this way, some issues such as active methodologies present changes in the relationship between teacher, student and knowledge. The student becomes the protagonist and the teacher acts as advisor, supervisor and facilitator of the process, producing more meaningful learning. This article's main objective is to develop a learning itinerary through practical classes for the study of gases through a biodigester with a focus on meaningful learning in the area of natural sciences. It is considered, therefore, that the use of learning through well-planned learning itineraries that follow a logical sequence corroborates the construction of skills, as they favor student engagement and autonomy. In this sense, it is expected that this study can contribute to the understanding of the topic and encourage the adoption of organizational and methodological practices with the aim of improving the quality of teaching and student learning. Learning based on learning scripts is a good way to make the student build new knowledge from the moment the teacher brings into the school environment a problem related to the experiences of these students, thus stimulating them with a learning that makes sense. It

¹ Acadêmico de licenciatura em Física. IFPI - Teresina Central. matheus.nasc.carvalho@gmail.com.

² Currículo sucinto do(a) professor(a) orientador(a). IFPI - Teresina Central. etvaladao@ifpi.edu.br.

appears that through this new perspective on the way of teaching, development and the possibility of making student learning more meaningful are stimulated.

Keywords: Biodigester; Gases; Learning path; Meaningful learning.

Data de aprovação: 13/03/2023

1 INTRODUÇÃO

Diferentemente da educação do passado, a escola de hoje precisa articular diversos saberes e práticas metodológicas de ensino para garantir a aprendizagem de seus estudantes. Além de expandir o potencial criativo de crianças e jovens, as instituições de ensino do século XXI têm a tarefa de abrir suas portas e estabelecer parcerias e vínculos com as famílias e comunidades onde estão inseridas. Neste trabalho, com o intuito de potencializar o ensino e a aprendizagem, propomos uma metodologia de ensino para o professor em forma de roteiro de aprendizagem através de um biodigestor.

O biodigestor tem sido amplamente utilizado nas propriedades rurais, especialmente em grandes fazendas que possuem grande quantidade de suínos e bovinos. Esta fonte de energia alternativa baseia-se na biodigestão da matéria orgânica em uma câmara fechada (processo anaeróbico), com a consequente produção do biogás, que dentre outros gases, possui o gás metano com maior concentração em sua composição.

No que diz respeito a roteiros de aprendizagem, estes podem ser entendidos como instrumentos planejados intencionalmente pelo professor para auxiliar os alunos no estudo autônomo.

Este trabalho teve por objetivo geral desenvolver um roteiro de aprendizagem através de aulas práticas para o estudo de gases através de um biodigestor com foco em uma aprendizagem significativa. Na condução deste trabalho procuramos esclarecer se o ensino através de roteiro de aprendizagem pode melhorar o ensino ou a aprendizagem, trazendo uma aprendizagem significativa e também se os experimentos no ensino de gases realmente são eficazes na compreensão destes.

A pesquisa evidencia as principais qualidades do uso de roteiros para o ensino da Física e tem o intuito de apresentar a professores um roteiro de aprendizagem bem estruturado, com uma sequência correta de eventos e assim fazer chegar aos alunos, além da aprendizagem do conteúdo de gases, o funcionamento do biodigestor com uma aprendizagem significativa além também de o virem como uma fonte renovável de energia. Scarpari (2009, p. 11) propõe em seu estudo que os conteúdos de Física sejam ensinados a partir de um corpus, pois quando o aluno associa o que aprende a algo que faz parte de seu cotidiano, a aprendizagem ocorre espontânea e significativamente.

Moro et.al. (2019, p.105) relaciona que "a preocupação com a questão ecológica, ambiental e de saúde pública tem sido tema de debates e propostas investigativas na atualidade, e essas questões não podem deixar de perpassar o trabalho educativo". Assim, o biodigestor atua como instrumento para integração de vários conceitos não somente físicos, destacando também sua importância ecológica e ambiental.

Esta pesquisa também visa inserir o conteúdo de fontes renováveis de energia em conjunto com o conteúdo de gases ideais, de maneira a desenvolver a capacidade de investigação científica por parte dos discentes. Para Silva (2015, p.16), um dos grandes desafios do ensino de Ciências atualmente consiste em relacionar os seus conteúdos com as grandes transformações científicas e tecnológicas que ocorrem na sociedade.

O texto deste trabalho encontra-se dividido em sete seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção intitulada “O biodigestor” traz a discussão sobre o que é e qual o princípio de funcionamento deste. Nas seções seguintes temos uma parte sobre Aprendizagem significativa seguida dos princípios e leis que regem os gases ideais e depois sobre orientações de como elaborar roteiros de aprendizagem. A sétima traz a “Metodologia” e o tipo de pesquisa e finalizando com os resultados e a análise interpretativa dos dados.

Após a discussão teórica, organizamos o produto da pesquisa, que se constitui em um roteiro de aprendizagem que têm o intuito de fornecer um material mais expressivo para o professor que desejar usar este tipo de possibilidade educacional, que é um roteiro de aprendizagem.

A ideia aqui é construir um roteiro de aprendizagem como instrumento metodológico do professor para que este faça uma visita guiada a um biodigestor com seus alunos em que os mesmos, de posse do roteiro, concluam um processo de aprendizagem iniciada na sala de aula.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

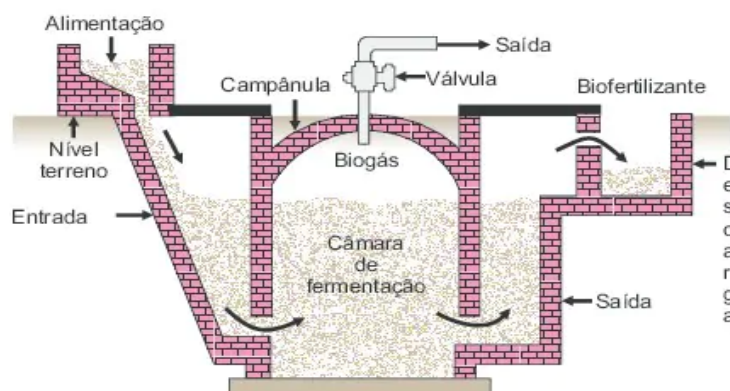
Neste capítulo, delimitamos as teorias e pressupostos as quais essa pesquisa se baseia. Passaremos por uma breve e objetiva introdução dos conceitos que envolvem esta pesquisa e que são trabalhados em sala de aula e em seguida, mostraremos as teorias nas quais ancoramos nossa abordagem metodológica de ensino.

2.1 O BIODIGESTOR

As fontes de energia renováveis fazem cada vez mais parte de debates a nível mundial acerca do meio ambiente em que vivemos. As consequências do efeito estufa têm deixado preocupações iminentes e os órgãos envolvidos diretamente buscam alternativas viáveis para diminuir seus efeitos. É de fundamental importância que o ser humano saiba aproveitar o que a natureza lhe oferece e, dessa forma, podemos encontrar várias alternativas de fontes renováveis de energia.

Uma dessas alternativas é o biodigestor, como o da figura 1, utilizado em larga escala nas grandes fazendas que possuem grande quantidade de gado ou de suínos. Seu funcionamento utiliza matéria orgânica, também chamada de biomassa, colocada em repouso dentro de uma câmara fechada.

Figura 1: Esquema representando um biodigestor do tipo chinês.



Fonte: <https://emasjr.com.br/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>

O princípio de funcionamento de um biodigestor perpassa por vários conceitos termodinâmicos, como os conceitos de trocas e propagação de calor, calor sensível e, sobretudo, o modelo de um gás ideal, pois o biogás produzido e armazenado por um biodigestor para ser utilizado nos mais diversos fins pode ser analisado e estudado como um gás ideal realizando ou recebendo trabalho e calor.

É possível concluir, de acordo com Barreira (2011, p.8) que “a biomassa é o combustível “mais” inesgotável e renovável que se conhece, com base na energia solar, da mesma maneira que foi a ação do Sol que gerou o petróleo e o carvão”. Dessa maneira, a matéria orgânica inicia o processo de fermentação anaeróbica (sem a presença de oxigênio), produzindo assim alguns gases, em especial o gás metano que pode ser utilizado como combustível alternativo àqueles derivados do petróleo.

Em seu trabalho, Silva et al. (2018, p.123) concluíram que por meio da construção e observação do biodigestor se permitiu ao estudante cultivar sua criatividade, seu imaginário e sua vontade de estar em sala de aula trabalhando em grupos.

Dessa forma, tem-se como resultados esperados, ao final deste trabalho, que tanto o professor quanto o aluno tenham ganhos qualitativos de aprendizagem e que o biodigestor seja um facilitador para apropriação do conhecimento, evidenciando assim a importância da observação/experimentação para desenvolvimento de aprendizagens significativas dos alunos no ensino de Física.

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O conceito de aprendizagem significativa foi proposto pelo psicólogo especialista em educação, David Paul Ausubel. Essa metodologia pode mostrar um caminho para superar o ensino tradicional, onde o professor, ao trabalhar algum conteúdo, baseia seu trabalho principalmente na premissa de articular um novo conceito com os conhecimentos que seu aluno já possui, uma vez que a prática pedagógica em Física, assim como as demais ciências é, de modo geral, desenvolvida na sua forma tradicional como uma aprendizagem fundamentalmente mecânica.

Para desenvolver uma Aprendizagem Significativa duas condições devem ser efetivadas: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. Segundo Moreira (2011):

A primeira condição implica que o material de aprendizagem [...] tenha significado lógico [...] e que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável a determinados conhecimentos e o aprendiz deve ter esses conhecimentos prévios necessários para fazer esse relacionamento [...].

Um material potencialmente significativo é aquele capaz de dialogar com o conhecimento prévio do estudante. A predisposição para aprender, significa que o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos a seus conhecimentos prévios.

Como observa Neto (2006, p.119), “[...] a aprendizagem significativa depende, no caso de haver disposição por parte do aluno de efetivá-la, da estrutura cognitiva desse aluno, do material que se quer aprender e do relacionamento entre essa estrutura cognitiva particular e o material de aprendizagem”.

Em outras palavras, a aprendizagem significativa só ocorre se o aluno dispuser de conhecimentos retidos relacionados ao material que se quer aprender, e em contrapartida, se o aluno não possui o subsunçor, a aprendizagem não será significativa.

Segundo Moreira (2011), a teoria da Aprendizagem Significativa afirma que na nossa mente existe uma rede de conhecimentos específicos que nos permitem atribuir significado a

novos conceitos. Esses conhecimentos se relacionam e se reorganizam entre si, formando uma estrutura cognitiva complexa de conceitos e concepções.

Para Giacomelli e Rosa (2021, p.6), a aprendizagem significativa decorre da interação de um novo conhecimento com outro já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, levando a que novos conhecimentos sejam desenvolvidos, elaborados e diferenciados. Além disso, também é necessário pensar o modo de abordagem didática do conteúdo.

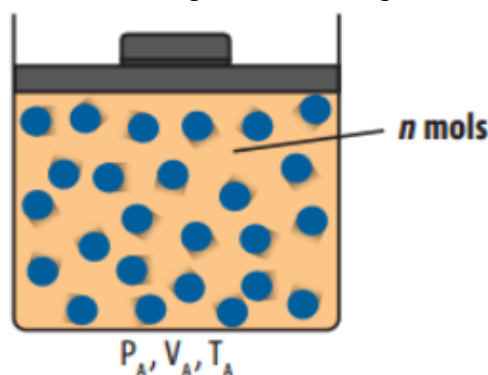
2.3 PRINCÍPIOS DE BOYLE-MARIOTTE, CHARLES E GAY-LUSSAC

Para um estudo da parte mais específica do que se quer abordar, precisamos ter um certo foco nesses três princípios que seguem. Portanto falemos um pouco sobre as moléculas que formam um gás.

As moléculas que formam os gases estão distantes umas das outras, por isso apresentam forças de coesão pouco intensas, grande agitação e movimento aleatório devido aos constantes choques que ocorrem em inúmeras direções e velocidades (MARTINI et.al., 2016). Por sua grande agitação, as moléculas de um gás tendem a se distanciar umas das outras, bem mais que nos líquidos e sólidos, consequentemente, sua força de atração molecular é fraca.

Podemos caracterizar um gás por meio de três grandezas: pressão (p), volume (V) e temperatura (T), denominadas variáveis de estado, como representado na figura 2 para um determinado estado A.

Figura 2: Variáveis de estado de um gás em um recipiente em um estado inicial A.



Fonte: <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem-play/transformacoes-gasosas/>

A busca pela explicação das propriedades e leis dos gases com base nas leis de Newton é o objetivo da teoria cinética dos gases. O conjunto de várias hipóteses tornou possível a estruturação de um modelo de gás, denominado gás ideal, no qual as moléculas são tratadas como partículas (MARTINI et.al., 2016).

As transformações gasosas acontecem quando ocorre a alteração de uma ou mais das variáveis de estado de um sistema que contenha um gás.

No final do século XVII, o químico irlandês Robert Boyle (1627-1691) realizou uma série de experiências utilizando um tubo em U fechado apenas em uma das extremidades (fig. 3). Ele preencheu esse dispositivo com mercúrio, a fim de aprisionar determinado volume de ar no ramo fechado (MARTINI et.al., 2016). Pelo ramo aberto do tubo, Boyle alterava a quantidade de mercúrio no sistema, o que lhe permitiu observar variações no volume do ar retido no ramo fechado e medir os valores da pressão dessa mistura gasosa por meio do desnível entre as duas colunas de mercúrio.

Figura 3: Experimento de tubo em U realizado por Boyle.



Fonte: MARTINI et.al. (2016)

Em seus vários experimentos, Boyle observou que a relação de dependência entre pressão e volume se mantinha sempre que a temperatura não sofria variação. Assim, ele concluiu que, nas transformações isotérmicas, pressão e volume, variáveis de estado, são inversamente proporcionais (MARTINI et.al., 2016). Esse resultado ficou conhecido como lei de Boyle (ou de Boyle-Mariotte), concluindo que, em uma transformação isotérmica:

$$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B \quad (1)$$

Já a relação entre as variáveis de estado, volume e temperatura, foi feita pelo físico francês Jacques Charles (1746-182) que formulou a lei que sintetiza a relação de dependência entre as variáveis nas transformações isobáricas. A confirmação experimental da lei formulada por Charles foi realizada pelo físico e químico francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850), no início do século XIX (MARTINI et.al., 2016).

Charles e Gay-Lussac constataram que, se a temperatura (em Kelvin) a que o gás estiver submetido duplicar, o volume ocupado pelo gás também duplicará. Se a temperatura triplicar, o volume da massa de gás também será o triplo da inicial (MARTINI et.al., 2016). Eles puderam então concluir que, nas transformações gasosas sob pressão constante, o volume ocupado pelo gás é diretamente proporcional à sua temperatura (em Kelvin). A lei de Charles (também conhecida como lei de Charles e Gay-Lussac) para uma transformação isobárica é descrita por:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \quad (2)$$

Agora, mantendo-se constante o volume de determinada massa gasosa e aumentando sua temperatura, é possível observar que a pressão do gás aumenta de modo diretamente proporcional à temperatura. Transformações desse tipo são denominadas isovolumétricas isométricas ou isocóricas. A relação de proporcionalidade direta entre as grandezas p e T nas transformações isovolumétricas é conhecida por lei de Charles para transformações a volume constante e pode ser assim descrita:

$$\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B} \quad (3)$$

2.4 EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Uma transformação gasosa, isotérmica, isobárica ou isovolumétrica, caracteriza-se pelo fato de que uma das variáveis de estado do gás se mantém inalterada. No entanto, é comum ocorrerem transformações na massa gasosa nas quais as três grandezas (pressão, volume e temperatura) variam simultaneamente (MARTINI et.al., 2016).

O físico e engenheiro francês Benoît Paul-Émile Clapeyron (1799-1864), que trabalhou como projetista e construtor de estradas de ferro e máquinas a vapor, conseguiu identificar uma relação matemática entre as variáveis de estado de um gás ideal (MARTINI et.al., 2016). Essa relação, também chamada de equação de Clapeyron, descreve a dependência entre as variáveis p , V e T em determinado estado de um gás, possibilitando a dedução de uma lei geral, conhecida como lei dos gases ideais (ou perfeitos):

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

As variáveis de estado, pressão (p), volume (V) e temperatura (T), de uma massa de gás ideal contendo n mols de gás estão relacionadas pela equação de estado dos gases perfeitos (ou ideais). A constante de proporcionalidade R , denominada constante universal dos gases, foi obtida empiricamente:

$$R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \quad (5)$$

2.5 LEI GERAL DOS GASES IDEAIS

Observe que a equação de Clapeyron define o estado da massa de um gás, pois, como o produto ($n \cdot R$) se mantém constante, ao fixar de maneira arbitrária duas das variáveis de estado do gás, a terceira estará automaticamente definida (MARTINI et.al., 2016).

Considerando determinada massa gasosa contendo n mols de um gás qualquer, inicialmente sob pressão p_0 , volume V_0 e temperatura T_0 , provoca-se a transformação gasosa desse estado inicial para um estado final, experimentalmente, em que o gás esteja submetido à pressão p_f , ao volume V_f e à temperatura T_f . Aplicando a equação de Clapeyron a cada um desses estados do gás, temos:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f} \quad (6)$$

Essa expressão relaciona dois estados distintos da mesma massa gasosa e é denominada lei geral dos gases ideais (ou perfeitos).

2.6 ORIENTAÇÕES DE COMO ELABORAR ROTEIROS DE APRENDIZAGEM.

Roteiros podem ser compreendidos como um instrumento planejado intencionalmente pelo professor para auxiliar os alunos no estudo autônomo, favorecendo o engajamento e autonomia dos estudantes assim como a apreensão dos conceitos, resolução de tarefas, leitura de material didático e aprofundamento do estudo, dentro e fora de sala de aula, além de contribuir para que os mesmos desenvolvam estratégias de sistematização de estudo para alcançar os objetivos de aprendizagem propostos pelo professor.

Segundo (Farias, 2019) essencialmente, um roteiro de aprendizagem é composto por:

- (i) um texto de apresentação que indica a importância da tarefa e fornece orientações do

professor; (ii) os objetivos de aprendizagem a serem alcançados com o roteiro desenvolvido; é o ponto central de um roteiro de aprendizagem. Ele considera o objetivo de aprendizagem do aluno segundo sua perspectiva, e não do professor. Deve ser claro para que o aluno compreenda o que vai conseguir realizar após o roteiro de aprendizagem e (iii) as tarefas que devem ser realizadas pelos alunos de modo a possibilitá-los o alcance dos objetivos estabelecidos.

O estabelecimento da tarefa deve estar ligado diretamente com o objetivo de aprendizagem proposto pelo professor. Dentre as tarefas que podem ser solicitadas, citamos: resolução de problemas, pesquisas bibliográficas, discussões em grupo, questionário, leitura e desenvolvimento de textos, resolução de cálculos, desenhos esquemáticos, dentre outros que o professor considerar mais adequado.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, caracteriza-se os tipos de pesquisa e a opção de abordagem metodológica, os instrumentos para coleta dos dados, o contexto empírico onde se obteve os dados deste estudo, os procedimentos de organização, categorização e análise dos dados. Assim, buscou-se evidenciar o percurso metodológico na intenção de elucidar a questão-problematizadora da pesquisa.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Esta é uma pesquisa qualitativa de revisão bibliográfica na qual abrange, de acordo com Lakatos e Marconi (2003, p.183), “toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc. até meios de comunicação orais”, já que tem como foco principal a criação de um roteiro de aprendizagem.

Também possui características de uma pesquisa exploratória, tendo em vista que propõe estudos ainda não encontrados na literatura.

3.2 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Foram pesquisados trabalhos disponíveis nos portais de periódicos da Capes, Scielo e Google Acadêmico, como alternativa generalizada de busca, sendo filtrados para periódicos somente brasileiros. A busca realizada compreendeu os seguintes termos: “Biodigestor no ensino de Física”, “Biodigestor como instrumento de ensino”, “Aprendizagem Significativa no ensino de Física” e “Roteiros de Aprendizagem”.

3.3 CONTEXTO EMPÍRICO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS DADOS

A pesquisa realizou-se através de buscas nos principais portais de periódicos e a escolha pela temática está diretamente relacionada às vivências acadêmicas do pesquisador, como parte essencial de seu processo formativo inicial de estudante, que a partir de suas experiências discentes, interessou-se em conhecer mais e relacionar o ensino a novas metodologias e/ou atividades práticas, dadas as dificuldades encontradas na maioria das escolas públicas com relação à falta de laboratório de Física ou Ciências, visitas técnicas, etc..

Após análise da literatura e embasamento teórico, foi gerado um roteiro de aprendizagem que aqui serve como sugestão de instrumento de ensino para o professor propor aos seus alunos quando da visita a um biodigestor, para que os mesmos, seguindo o passo a passo, consigam uma aprendizagem significativa e na perspectiva de entender se a

aprendizagem baseada em roteiros de aprendizagem é uma boa forma de fazer com que o aluno construa novos conhecimentos a partir do momento em que o professor traz para dentro do ambiente escolar, uma situação real, estimulando uma aprendizagem que faça sentido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa buscou evidenciar as principais qualidades do uso de roteiros de aprendizagem tomando por base um biodigestor como metodologia de ensino para potencializar o estudo dos gases. Dos trabalhos disponíveis nos portais de periódicos da Capes, Scielo e Google Acadêmico, foram encontrados mais de 2000 periódicos somando todas as pesquisas, dos quais foram selecionados 10 satisfatórios para análise e desenvolvimento da pesquisa. A literatura mais antiga consultada foi do ano de 2009, enquanto o restante foi publicado entre os anos de 2011 e 2021.

4.1 O BIODIGESTOR NO ESTUDO DOS GASES

O biodigestor pode ser utilizado como instrumento de ensino para demonstração de como um gás pode se comportar, ou não, como um gás ideal, visto que há a produção do biogás e, conseqüentemente, aumento da pressão interna, podendo haver aumento ou diminuição da temperatura, além de variação do volume ocupado pelo biogás, a depender do tipo de biodigestor usado e volume dos reagentes colocados dentro da câmara de digestão.

Scarpari (2009, p.61) em seu estudo acerca do biodigestor para determinação da pressão interna do biodigestor nos diz que

Embora existindo diversos modelos de manômetros disponíveis no mercado, optou-se por utilizar um manômetro “caseiro” construído com materiais de baixo custo,[...] pois seu princípio físico de funcionamento baseia-se no Teorema de Stevin [...]

O arranjo do experimento proposto para a determinação da pressão interna está representado na figura 4 a seguir.

Figura 4: Experimento para determinação da pressão no biodigestor.



Fonte: SCARPARI (2009, p.62)

Neste experimento proposto por Scarpari (2009, p.62), pode ser utilizada a equação abaixo para o cálculo da pressão do gás, o que pode ser feito pelo estudante no roteiro:

$$p_{\text{biogás}} = p_{\text{atmosférica}} + \mu_{\text{água}} \cdot g \cdot h \quad (7)$$

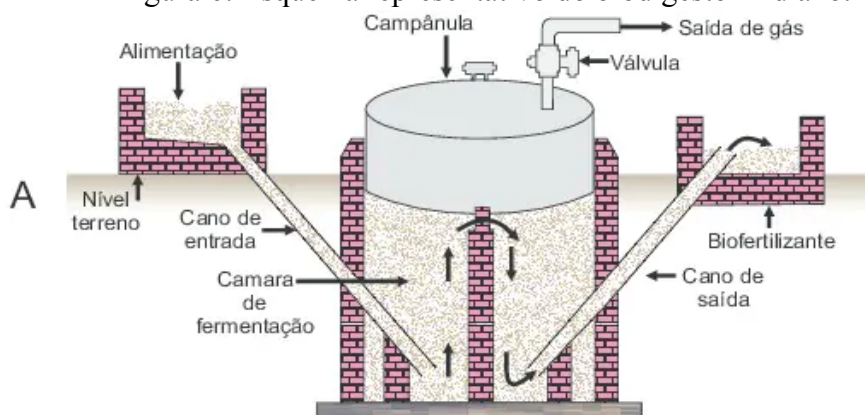
onde μ representa a massa específica da água, g a aceleração gravitacional e h a altura da coluna de líquido (no caso, a água).

Existe também o modelo indiano (figura 6) de cúpula móvel para o estudo de uma situação em que o volume ocupado pelo biogás pode ser alterado. Este modelo de biodigestor possui uma espécie de pistão (cúpula ou campânula) na parte superior do gasômetro. Barreira (2011, p.19) estabelece as principais diferenças entre o modelo chinês e indiano de biodigestores:

No modelo indiano, a cúpula vai subindo em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de biogás. Esta cúpula funciona como um verdadeiro gasômetro, já que, pelo seu próprio peso, acaba imprimindo uma certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por meio da fixação de pesos especiais na cúpula de metal.

Assim, podemos estudar, então, as transformações gasosas onde o volume sofre variações.

Figura 6: Esquema representativo do biodigestor indiano.



Fonte: <https://emasjr.com.br/blog/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>

Considerando, dessa forma, o princípio de Boyle-Mariotte, para transformações a temperatura constante, a equação (1), pode ser utilizada pelos alunos no roteiro.

Se o biogás contido no biodigestor indiano se comportar como um gás ideal, o volume final ocupado pelo biogás no gasômetro seria obtido em função do volume inicial ocupado pelo mesmo, que seria algo a depender do volume da mistura de efluente e água utilizada, pois o volume ocupado pelo biogás seria o volume total do biodigestor subtraído do volume da mistura de efluente e água.

Este modelo de biodigestor também permite que a pressão interna da câmara de biogás se mantenha constante, já que a campânula móvel permite alterações de volume ocupado pelo biogás. Dessa forma, caso o biogás realmente se comporte ou se aproxime de um gás ideal, podemos utilizar o princípio de Charles e Gay-Lussac para transformações gasosas a pressão constante.

Novamente, o volume final ocupado pelo biogás seria função do volume inicial. Dessa forma, é possível ao docente que utilize o biodigestor como instrumento de ensino para

exemplificar, de maneira real, uma forma de os discentes observarem o princípio de Clapeyron (4) aplicado ao biogás contido no biodigestor. Dessa forma, se considerarmos o biogás como sendo uma mistura de vários gases com maior concentração de gás metano, poderíamos aplicar:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \quad (8)$$

Pode-se perceber com isso que o número de mols dessa mistura de gases presente no biogás não poderia ser mantida constante com o decorrer do tempo, já que com o processo de biodigestão, tende a ser produzido biogás constantemente, alterando, assim, o número de mols. Daí, conclui-se, também, que as variáveis de estado após decorrido determinado tempo não estariam em conformidade com a lei geral dos gases perfeitos (6), já que o número de mols do biogás sofreria alterações no decorrer do tempo de biodigestão.

4.2 O BIODIGESTOR E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A utilização do biodigestor como instrumento de ensino para a Física abrange contextos que vão desde a materialização do que os discentes, na maioria das vezes, veem somente em sua imaginação, até os problemas enfrentados por docentes no que se refere à forma de abordagem dos conteúdos de sala de aula. Scarpari (2009, p.26) nos ajuda a entender o contexto atual no que se refere a essas problemáticas do ensino de Física:

É comum ouvirmos por parte de professores e alunos que, nos últimos anos, o ensino de Física tem se baseado na resolução de problemas de forma mecânica e descontextualizada. Tal forma de conduzir o ensino tem gerado descontentamento por parte dos alunos, levando-os ao desinteresse pelos estudos [...]. Isso se torna evidente quando os alunos questionam sobre a utilidade/aplicabilidade dos conceitos aprendidos na disciplina de Física para suas vidas.

Para compreendermos isso, também devemos olhar para as formas como os conteúdos são ministrados e contextualizados. De acordo com Scarpari (2009, p.26), outro ponto importante que influencia no desinteresse pelo estudo da Física está relacionado à desarticulação dos conteúdos ensinados com a realidade e o cotidiano dos alunos. A partir daí, podemos entender como uma metodologia que privilegie o uso de instrumentos no processo de ensino ajuda a efetivar os conhecimentos dos discentes, para que os mesmos consigam relacionar o conteúdo com suas vidas, fazendo com que o processo de ensino e aprendizagem obtenha real significado em suas vidas.

O biodigestor representa um equipamento de construção complexa para ser utilizado em larga escala, mas os princípios físicos fundamentais que ele abrange são de fácil entendimento apenas fazendo uma visita e com um roteiro a seguir. Em seu trabalho, Scarpari (2009, p.27) relaciona os seguintes conceitos:

Com a construção deste modelo didático de biodigestor, buscou-se criar uma situação prática envolvendo os princípios físicos de sua construção, de seu funcionamento e de sua operacionalização, permitindo explorar conceitos, equações e grandezas físicas mensuráveis associadas aos conteúdos programáticos de Hidrostática, Calorimetria e Gases, [...]

Neste trabalho, ao ser relacionado um roteiro de aprendizagem que utiliza como base o biodigestor e seus modelos chinês e indiano com o conteúdo de gases perfeitos, busca-se que isto produza aprendizagens significativas nos discentes, para que o conteúdo ministrado em

sala de aula consiga ser visualizado em uma situação real. Isto também busca instigar nos discentes o espírito de investigação, pois os princípios físicos aplicados na situação real do biodigestor permitem que os mesmos consigam obter conclusões acerca do que pode, ou não, ser afirmativo.

Neste roteiro também buscou-se aplicar o modelo de aprendizagem significativa superordenada, que é um critério de classificação de uma organização hierárquica da estrutura cognitiva, segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1983), submetendo primeiramente a conceitos específicos do conteúdo de gases perfeitos para que, com o advento do biodigestor e a partir da análise do mesmo através de um roteiro de aprendizagem, os conhecimentos mais gerais e fundamentais pudessem ser adquiridos.

Ao aplicar o princípio de diferenciação progressiva neste roteiro, observou-se que a construção de conhecimento tendo como base o biodigestor pode trazer aos discentes a habilidade de investigação, uma vez que, ao aplicarmos os princípios físicos decorrentes do conteúdo didático na situação do biodigestor, encontramos algumas similaridades e diferenças, além de algumas inconsistências com o que se é esperado em decorrência dos princípios e do que é encontrado na situação do biodigestor quando efetuamos a análise da produção do biogás, como por exemplo a situação de que o gás no biodigestor não manter o mesmo número de moléculas numa transformação. Estas inconsistências até reforçam a aprendizagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo foi concluído que o biodigestor em conjunto com um roteiro de aprendizagem enquanto instrumento de ensino seria uma alternativa viável para uma aprendizagem significativa, tendo em vista que muitas escolas enfrentam dificuldades com relação aos laboratórios de Ciências ou de Física. Através do advento do biodigestor, o conteúdo de Gases Ideais, que na maioria das vezes é ministrado de forma conceitual, adquire sentido ao ser relacionado com uma situação real seguindo um roteiro.

Os roteiros favorecem o engajamento e autonomia dos estudantes, além de contribuir para que os mesmos desenvolvam estratégias de sistematização de estudo para alcançar os objetivos de aprendizagem propostos pelo professor.

Além disso, é evidente como a observação e percepção de uma situação real que envolve determinado conteúdo de Ciências, promove a aprendizagem significativa por meio dos mesmos, visto que foram adicionados conhecimentos aos discentes em relação ao que já haviam aprendido como conteúdo de sala de aula.

Dessa forma, a aprendizagem ganha sentido para os discentes quando os mesmos conseguem observar os conceitos vistos teoricamente em uma situação controlada, seguindo um roteiro, com uma situação real, tornando possível que os mesmos investiguem os parâmetros físicos do sistema e consigam observar a veracidade da natureza do sistema por meio dos conhecimentos já desenvolvidos, evidenciando as principais qualidades do uso de experimentos para o ensino da Física.

Através das inconsistências que serão encontradas, os discentes poderão entender o que podemos relacionar com os conceitos teóricos, e também do que não podemos, sendo essa a proposição que ajuda os discentes na construção do conhecimento. Ao observarem como o biogás produzido no biodigestor não se comporta como um gás ideal proposto teoricamente, os discentes obtêm sentido significativo para o seu processo de aprendizado.

As conclusões acerca dos resultados advindos da aplicação de roteiros de aprendizagem dos princípios físicos no biodigestor permitem evidenciar que a aprendizagem em Física ganha significado.

Por fim, enfatiza-se aqui que um roteiro de aprendizagem favorece o conhecimento no público-alvo, através do conceito de aprendizagens significativas, levando em consideração que os princípios físicos aplicados na situação do biodigestor permitem que o mesmo, enquanto instrumento de ensino, produza a capacidade de investigação nos discentes, dando sentido ao processo de ensino e aprendizagem do conteúdo teórico.

REFERÊNCIAS

- BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.
- BOFF, Elisa; MORALES, Andréa Cantarelli; LIMA, Maria Carolina W. P.; WEBBER, Carine G.. Concepção de um objeto de aprendizagem em Física para potencializar a aprendizagem significativa. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, Caxias do Sul, v. 7, n. 1, p. 58-63, jul. 2019.
- FARIAS, Marcella Sarah Filgueiras de. **Design Thinking na elaboração de um produto educacional: roteiros de aprendizagem – estruturação e orientações**. Manaus, 2019.
- FERREIRA, Jandira. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de Ciências**. 2013. Monografia (Especialização no ensino de Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- GIACOMELLI, Alisson Cristian; ROSA, Cleci T. Werner da. Significados construídos por acadêmicos de licenciatura em Física durante a execução de experimentos de pensamento históricos. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Passo Fundo, v. 23, p. 01-24, mar. 2021.
- MARTINI, Glorinha; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro; SANT'ANNA, Blaidi. **Conexões com a Física: estudo do Calor, Óptica Geométrica e Fenômenos Ondulatórios**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016.
- MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.
- MORO, Fernanda Teresa; COPPI, Eliseu Paulo; PRSYBYCIEM, Moises Marques. Construção de um biodigestor: uma proposta de ensino interdisciplinar para escolas do campo. **Revista Insignare**, Itatiba do Sul, v.2, n.1, p.104-115, jan./abr. 2019.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Ebook.
- SCARPARI, Deivi de Oliveira. **Física dos biodigestores: contextualizando o ensino de Física para alunos do curso técnico agrícola**. 2009. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVA, Diego de Oliveira; SALES, Dr. Gilvandenys Leite. O ensino conceitual de Física e a aprendizagem significativa: uma revisão atualizada na produção acadêmica. **Revista Educere et Educare**, Paraná, v. 13, n. 30, nov./dez. 2018.

SILVA, Zenilda Ribeiro da; KRELLING, Ligia Marcelino; FLORCZAK, Marcos Antonio. Biodigestores como ferramenta para um ensino integrador. **Faz Ciência**, Curitiba, v.20, n.31, p.109-125, jan./jun. 2018.

SILVA, Zenilda Ribeiro da. **Manual didático do biodigestor**. 2015. Produto do Mestrado Profissional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVA, Zenilda Ribeiro da. **O ensino de Ecologia mediado pelo conceito unificador Energia: o biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

APÊNDICE 1: ROTEIRO DE APRENDIZAGEM PARA VISITA A UM BIODIGESTOR

EXPERIMENTO: ESTUDO DE GASES IDEAIS COM BASE EM UM BIODIGESTOR

1. OBJETIVOS

- Compreender os princípios dos gases ideais: Explorar os conceitos fundamentais dos gases ideais, incluindo pressão, volume, temperatura e quantidade de substância, e como essas variáveis estão inter-relacionadas.
- Analisar o processo de biodigestão: Investigar o funcionamento de um biodigestor e entender como a decomposição anaeróbica de matéria orgânica produz biogás.
- Medir as propriedades dos gases: Realizar medições precisas da pressão, temperatura e volume dos gases dentro do biodigestor, usando instrumentos apropriados.
- Aplicar a equação dos gases ideais para calcular a quantidade de substância (moles) dos gases produzidos no biodigestor e assim determinar a quantidade de biogás gerado.

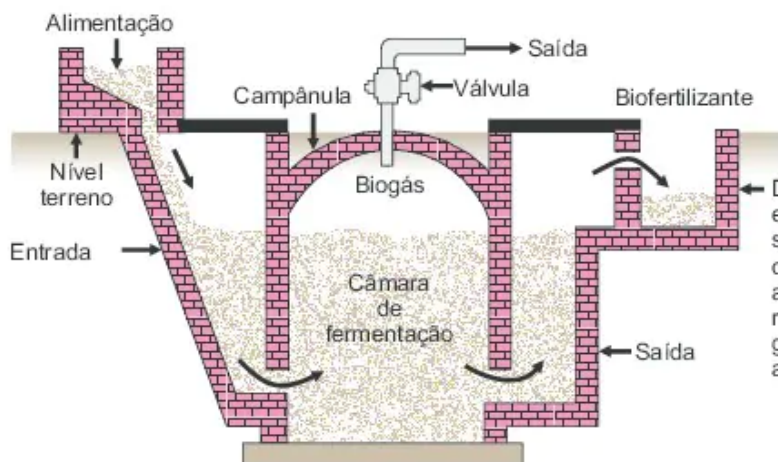
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O Biodigestor

As fontes de energia renováveis fazem cada vez mais parte de debates a nível mundial acerca do meio ambiente em que vivemos. É de fundamental importância que o ser humano saiba encontrar alternativas de fontes renováveis de energia.

Uma dessas alternativas é o biodigestor, como o da figura 1, utilizado em larga escala nas grandes fazendas que possuem grande quantidade de gado ou de suínos. Seu funcionamento utiliza matéria orgânica, também chamada de biomassa, colocada em repouso dentro de uma câmara fechada. A biomassa inicia o processo de fermentação anaeróbica, produzindo assim alguns gases, em especial o gás metano que pode ser utilizado como combustível alternativo àqueles derivados do petróleo.

Figura 1: Esquema representando um biodigestor do tipo chinês.



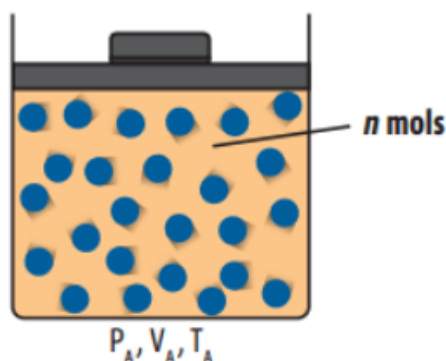
O princípio de funcionamento de um biodigestor perpassa por vários conceitos termodinâmicos, como os de trocas e propagação de calor, de calor sensível e, sobretudo, o modelo de um gás ideal, pois o biogás produzido e armazenado por um biodigestor para ser utilizado nos mais diversos fins pode ser analisado e estudado como um gás ideal realizando ou recebendo trabalho e calor.

2.2. Princípios de Boyle-Mariotte, Charles e Gay-Lussac

As moléculas que formam os gases estão distantes umas das outras, por isso apresentam forças de coesão pouco intensas, grande agitação e movimento aleatório devido aos constantes choques que ocorrem em inúmeras direções e velocidades (MARTINI et.al., 2016).

Pode-se caracterizar um gás por meio de três grandezas denominadas variáveis de estado: pressão (p), volume (V) e temperatura (T), como representado na figura 2 para um determinado estado A.

Figura 2: Variáveis de estado de um gás em um recipiente.

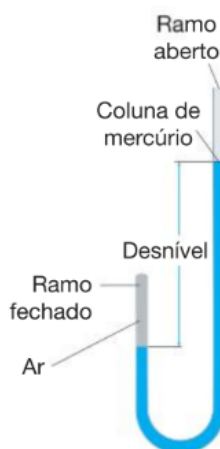


Fonte: <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem-play/transformacoes-gasosas/>

As propriedades e leis dos gases são explicadas pela teoria cinética dos gases. O conjunto das hipóteses estabelecidas pelos cientistas tornou possível a estruturação de um modelo de gás, denominado gás ideal, no qual as moléculas são tratadas como partículas (MARTINI et.al., 2016). As transformações gasosas acontecem quando ocorre a alteração de uma ou mais variáveis de estado de um sistema que contenha um gás.

No final do século XVII, o químico irlandês Robert Boyle (1627-1691) realizou uma série de experiências utilizando um tubo em U fechado apenas em uma das extremidades (fig. 3). Ele preencheu esse dispositivo com mercúrio, a fim de aprisionar determinado volume de ar no ramo fechado (MARTINI et.al., 2016). Pelo ramo aberto do tubo, Boyle alterava a quantidade de mercúrio no sistema, o que lhe permitiu observar variações no volume do ar retido no ramo fechado e medir os valores da pressão dessa mistura gasosa por meio do desnível entre as duas colunas de mercúrio.

Figura 3: Experimento de tubo em U realizado por Boyle.



Fonte: MARTINI et.al. (2016)

Em seus vários experimentos, Boyle observou que a relação de dependência entre pressão e volume se mantinha sempre que a temperatura não sofria variação. Assim, ele concluiu que, nas transformações isotérmicas, pressão e volume, variáveis de estado, são inversamente proporcionais. (MARTINI et.al., 2016) Esse resultado ficou conhecido como lei de Boyle (ou de Boyle-Mariotte), concluindo que, em uma transformação isotérmica:

$$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B \quad (1)$$

O físico francês Jacques Charles (1746-182) formulou a lei que relaciona as variáveis de estado volume e temperatura, nas transformações isobáricas. A confirmação experimental da lei formulada por Charles foi realizada pelo físico e químico francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850), no início do século XIX. (MARTINI et.al., 2016)

Charles e Gay-Lussac constataram que, se a temperatura (em Kelvin) a que o gás estiver submetido duplicar, o volume ocupado pelo gás também duplicará; se triplicar, o volume da massa de gás também será o triplo da inicial (MARTINI et.al., 2016). Eles puderam então concluir que, nas transformações gasosas sob pressão constante, o volume ocupado pelo gás é diretamente proporcional à sua temperatura. A lei de Charles (também conhecida como lei de Charles e Gay-Lussac) para uma transformação isobárica é descrita por:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \quad (2)$$

Transformações denominadas isovolumétricas, isométricas ou isocóricas ocorrem mantendo-se constante o volume de determinada massa gasosa e aumentando sua temperatura. É possível observar que a pressão do gás aumenta de modo diretamente proporcional à temperatura.

A relação de proporcionalidade direta entre as grandezas p e T nas transformações isovolumétricas é conhecida por lei de Charles para transformações a volume constante e pode ser assim descrita:

$$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \quad (3)$$

2.3. Equação de Clapeyron

Uma transformação gasosa, isotérmica, isobárica ou isovolumétrica, caracteriza-se pelo fato de que uma das variáveis de estado do gás se manter inalterada. No entanto, é comum ocorrerem transformações na massa gasosa nas quais as três grandezas (pressão, volume e temperatura) variam simultaneamente. (MARTINI et.al., 2016)

O físico e engenheiro francês Benoît Paul-Émile Clapeyron (1799-1864), conseguiu identificar uma relação matemática entre as variáveis de estado de um gás ideal (MARTINI et.al., 2016). Essa relação, descreve a dependência entre as variáveis p , V e T em determinado estado de um gás, dada por:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (4)$$

A constante universal dos gases perfeitos R , foi obtida empiricamente:

$$R = 8,31 \frac{J}{mol.K} = 0,082 atm.l/(mol.K) \quad (5)$$

2.4. Lei Geral dos Gases Ideais

Observe que a equação de Clapeyron define o estado da massa de um gás, pois, como o produto ($n \cdot R$) se mantém constante, ao fixar de maneira arbitrária duas das variáveis de estado do gás (p , V ou T), a terceira estará automaticamente definida (MARTINI et.al., 2016). Considerando determinada massa gasosa contendo n mols de um gás qualquer, inicialmente sob pressão p_0 , volume V_0 e temperatura T_0 , provoca-se a transformação gasosa desse estado inicial para um estado final, experimentalmente, em que o gás esteja submetido à pressão p_f , ao volume V_f e à temperatura T_f . Aplicando a equação de Clapeyron a cada um desses estados do gás, temos:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f} \quad (6)$$

Essa expressão relaciona dois estados distintos da mesma massa gasosa e é denominada lei geral dos gases ideais (ou perfeitos).

2.5. O Biodigestor no estudo dos Gases Ideais

O biodigestor pode ser utilizado como instrumento de ensino para demonstração de como um gás pode se comportar, ou não, como um gás ideal, visto que há a produção do biogás e, conseqüentemente, aumento da pressão interna, podendo haver aumento ou diminuição da temperatura, além de variação do volume ocupado pelo biogás, a depender do tipo de biodigestor usado e volume dos reagentes colocados dentro da câmara de digestão.

3. ROTEIRO EXPERIMENTAL

3.1. Lista de Materiais Obrigatórios

- Materiais para construção do manômetro caseiro;
- Pincel e quadro branco;
- Livro didático.
- Biodigestor. (a ser visitado)

3.3. Análise do biogás como um gás ideal

Scarpari (2009, p.61) em seu estudo acerca do biodigestor para determinação da pressão interna do biodigestor nos diz que:

Embora existindo diversos modelos de manômetros disponíveis no mercado, optou-se por utilizar um manômetro “caseiro” construído com materiais de baixo custo,[...] pois seu princípio físico de funcionamento baseia-se no Teorema de Stevin [...]

O arranjo do experimento proposto para a determinação da pressão interna está representado a seguir.

Figura 4: Experimento para determinação da pressão no biodigestor.



Fonte: SCARPARI (2009, p.62)

Neste experimento proposto por Scarpari (2009, p.62), foi utilizada a equação:

$$p_{biogás} = p_{atmosférica} + \mu_{água} \cdot g \cdot h \quad (7)$$

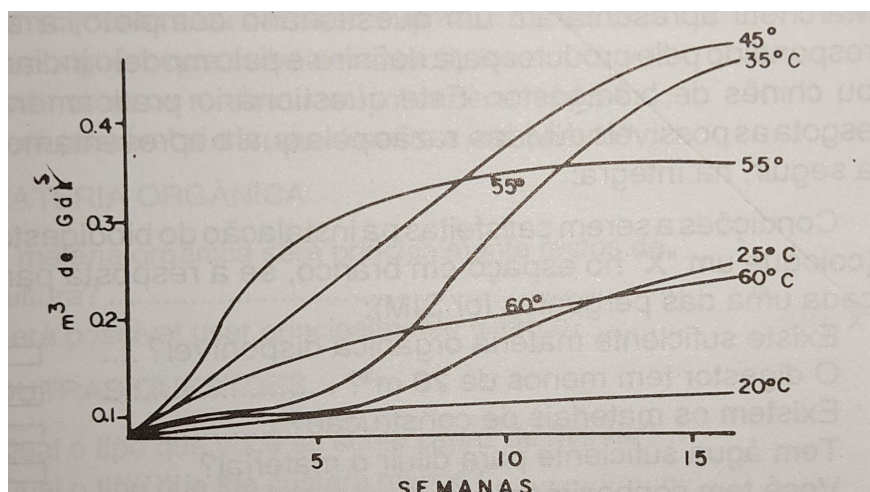
onde μ representa a massa específica da água, g a aceleração gravitacional e h a altura da coluna de líquido (no caso, a água).

Então, de acordo com o experimento de Scarpari, você deve:

1. Medir a altura no manômetro e anotar o valor;
2. Calcular a pressão do biogás. Use a pressão atmosférica como sendo $1,01.10^5$ Pa.

O gráfico abaixo nos fornece uma relação entre a temperatura interna do biodigestor e a produção de biogás com o decorrer das semanas.

Figura 5: Gráfico da produção de biogás de acordo com a temperatura.



Fonte: BARREIRA (2011, p.43)

Pelo gráfico a produção de biogás é máxima entre quais temperaturas? Se o biogás se comportar, então, como um gás ideal, podemos utilizar o princípio de Charles (3) para determinar a pressão interna do biodigestor quando o sistema atingir a temperatura de máxima produção de gás, partindo do pressuposto que a temperatura inicial foi a primeira que você deduziu e que o sistema estava inicialmente à pressão atmosférica.

Utilize o gráfico da figura 5 para estabelecer de outra forma a pressão do biogás. Compare os dois valores e discuta as diferenças.

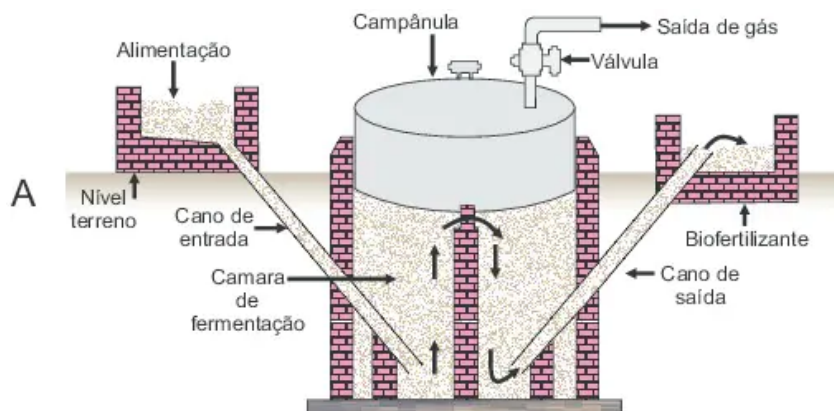
Com isso, podemos verificar como se comporta a pressão interna no decorrer do tempo, em caso do biogás se comportar como um gás ideal, sabendo que, neste modelo de biodigestor, o volume deve permanecer constante ao longo do tempo, caracterizando-se por uma transformação isobárica.

Agora, vamos considerar o modelo indiano de cúpula móvel, fig. 6, para o estudo de uma situação em que o volume ocupado pelo biogás pode ser alterado. Este modelo de biodigestor possui uma espécie de pistão (cúpula ou campânula) na parte superior do gasômetro. Barreira (2011, p.19) estabelece as principais diferenças entre o modelo chinês e indiano de biodigestores:

No modelo indiano, a cúpula vai subindo em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de biogás. Esta cúpula funciona como um verdadeiro gasômetro, já que, pelo seu próprio peso, acaba imprimindo uma certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por meio da fixação de pesos especiais na cúpula de metal.

Assim, podemos estudar, então, as transformações gasosas onde o volume sofre variações.

Figura 6: Esquema representativo do biodigestor indiano.



Fonte: <https://emasjr.com.br/blog/entenda-os-tipos-de-biodigestor-e-qual-e-o-mais-adequado-para-voce/>

Considerando o princípio de Boyle-Mariotte para transformações a temperatura constante e se o biogás contido no biodigestor indiano se comportar como um gás ideal, o volume final ocupado pelo biogás no gasômetro seria obtido em função do volume inicial ocupado pelo mesmo, que seria algo a depender do volume da mistura de efluente e água utilizada, pois o volume ocupado pelo biogás seria o volume total do biodigestor subtraído do volume da mistura de efluente e água.

Calcule o volume final em função do volume inicial a partir da equação abaixo:

$$p_i \cdot V_i = p_f \cdot V_f$$

Este modelo de biodigestor também permite que a pressão interna da câmara de biogás se mantenha constante, já que a campânula móvel permite alterações de volume ocupado pelo biogás. Dessa forma, caso o biogás realmente se comporte como um gás ideal, podemos utilizar o princípio de Charles e Gay-Lussac para transformações gasosas a pressão constante. Considerando que as temperaturas inicial e final são 35°C e 45°C, respectivamente, consideradas ideais para maior produção de gás, calcule o volume final em função do inicial. Use a equação abaixo:

$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f}$$

Novamente, o volume final ocupado pelo biogás seria função do volume inicial. Dessa forma, é possível observar o princípio de Clapeyron aplicado ao biogás contido no biodigestor. Então, se considerarmos o biogás como sendo uma mistura de vários gases com maior concentração de gás metano, poderíamos aplicar:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

Pode-se perceber com isso que o número de mols dessa mistura de gases presente no biogás não poderia ser mantida constante com o decorrer do tempo, já que com o processo de biodigestão, tende a ser produzido biogás constantemente, alterando, assim, o número de mols. Daí, conclui-se, também, que as variáveis de estado após decorrido determinado tempo não estariam em conformidade com a lei geral dos gases perfeitos, já que o número de mols do biogás sofreria alterações no decorrer do tempo de biodigestão.

4. QUESTIONÁRIO

- 1) Discorra como a decomposição anaeróbica de matéria orgânica produz biogás.
- 2) O que é um gás?
 - a) Gás é um fluido que não possui as propriedades de compressibilidade e expansibilidade, portanto ocupa somente uma porção do volume em que está contido.
 - b) Gás é um líquido cujas moléculas que o constituem estão bastante espaçadas umas das outras.
 - c) Gás é um fluido que apresenta somente a propriedade de expansibilidade.
 - d) Gás é um fluido que sofre ação da gravidade e não possui propriedades de compressibilidade.
 - e) Gás é um fluido que possui as propriedades de compressibilidade e expansibilidade e que tende a ocupar todo o espaço onde está contido.
- 3) Se dois mols de um gás, à temperatura de 27 °C, ocupam um volume igual a 57,4 litros, qual é, aproximadamente, a pressão desse gás? (Adote $R = 0,082 \text{ atm.L/mol.K}$).

5. BIBLIOGRAFIA

BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.

FERREIRA, Jandira. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de Ciências**. 2013. Monografia (Especialização no ensino de Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GIACOMELLI, Alisson Cristian; ROSA, Cleci T. Werner da. Significados construídos por acadêmicos de licenciatura em Física durante a execução de experimentos de pensamento históricos. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Passo Fundo, v. 23, p. 01-24, mar. 2021.

SCARPARI, Deivi de Oliveira. **Física dos biodigestores: contextualizando o ensino de Física para alunos do curso técnico agrícola**. 2009. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, Diego de Oliveira; SALES, Dr. Gilvandenys Leite. O ensino conceitual de Física e a aprendizagem significativa: uma revisão atualizada na produção acadêmica. **Revista Educere et Educare**, Paraná, v. 13, n. 30, nov./dez. 2018.

SILVA, Zenilda Ribeiro da. **Manual didático do biodigestor**. 2015. Produto do Mestrado Profissional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.