UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS

ANGLEIB JUSTINO FIGUEIREDO DE FREITAS

MONITORAMENTO DE BIODIGESTORES ALIMENTADOS POR RESÍDUOS E DEJETOS DA AGROINDÚSTRIA (ABATEDOURO E QUEIJEIRA) GERADOS NA REGIÃO DE POMBAL - PB.

POMBAL - PB
2014

ANGLEIB JUSTINO FIGUEIREDO DE FREITAS

MONITORAMENTO DE BIODIGESTORES ALIMENTADOS POR RESÍDUOS E DEJETOS DA AGROINDÚSTRIA (ABATEDOURO E QUEIJEIRA) GERADOS NA REGIÃO DE POMBAL - PB.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Mestre.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia em Sistemas Agroindustriais.

Orientadora: Profa. Dra Roberlucia Araújo Candeia
Co-Orientador: Profº Dr. Luciano Leal de Morais Sales

POMBAL - PB

2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MIDINAI GOMES BEZERRA CRB 15/663

F862m Freitas, Angleib Justino Figueiredo de.

Monitoramento de biodigestores alimentados por resíduos e dejetos da agroindústria (abatedouro e queijeira) gerados na região de Pombal - PB/ Angleib Justino Figueiredo de Freitas. – Pombal, PB, 2014.

56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande – (UFCG), 2014.

Orientação: Prof.ª Dr.ª Roberlucia Araújo Candeia.

1. Bioenergia. 2. Agroindústria. 3. Resíduos. 4. Dejetos. I. Título.

21. ed. CDD 628.7

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

MONITORAMENTO DE BIODIGESTORES ALIMENTADOS POR RESÍDUOS E DEJETOS DA AGROINDÚSTRIA (ABATEDOURO E QUEIJEIRA) GERADOS NA REGIÃO DE POMBAL - PB.

ANGLEIB JUSTINO FIGUEIREDO DE FREITAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Mestre.
Área de Concentração: Ciência e Tecnologia em Sistemas Agroindustriais.

Dissertação aprovada em 15/08/2014

Banca Examinadora:

Profa. Dra Roberlucia Araújo Candeia
(Orientadora)

Profº Dr. Luciano Leal de Morais Sales
(Co-orientador)

Profº Dr. Hermesson Jales Dantas
(Examinador Externo)

Profº Dr. Camilo Allyson Simões de Farias
(Examinador Interno)

Pombal - PB
2014

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que sabe todas as coisas, e que sempre foi a minha força interior nos momentos de dificuldades e angustia que a vida inevitavelmente me proporcionou.

Aos meus pais *Antônio Justino Neto* e *Niedja Figueiredo de Freitas* que são e sempre serão meus pilares nessa vida terrena, e que também me proporcionaram uma educação de qualidade, tanto em âmbito escolar acompanhando meus estudos de perto, bem como na convivência diária, me ensinando o que é Respeito, Lealdade, Dignidade e Conduta.

A toda a minha família – avôs, avós, irmão e irmã, tios, tias, primos e primas que sempre me incentivaram a estudar e buscar conhecimento, não só pra interiorizar a aprendizagem e a sabedoria, mas para que eu pudesse proporcioná-la às demais pessoas que estão inseridas na minha vida, tanto no campo pessoal como no profissional.

A Tio Neném (*In Memoriam*), que sempre me incentivou com palavras delicadas de Superação, Coragem e Otimismo.

A todos os professores que passaram pela minha vida e que contribuíram com a minha formação escolar até esse estágio, sem vocês isso não seria possível.

Aos meus amigos que, pela quantidade não seria possível destacar aqui, mas que sabem das suas importâncias na minha vida.

E a todas as pessoas que de forma direta e indireta contribuíram para que eu alcançasse esse grau.

Meu Muito Obrigado a todos!

Agradecimentos

A Universidade Federal de Campina grande – CCTA e ao PPGSA pela oportunidade e apoio prestados nessa caminhada.

Ao IFPB – Laboratório de Solos – Campus de Sousa-PB, pelo suporte dado nas análises químicas.

À minha Orientadora Dra. Roberlucia Araujo Candeia, que com muita responsabilidade, dedicação, paciência, ensino, amizade e carinho, desenvolveu um trabalho de excelente qualidade, deixando às vezes seus afazeres cotidianos e profissionais pra sempre me acompanhar de perto nessa jornada.

Ao meu Co-orientador Dr. Luciano Leal de Morais Sales, que me iniciou neste caminho desde a graduação com uma excelente amizade, sempre me incentivando, ajudando com ideias, apoiando em todos os aspectos e momentos de dificuldades que atravessei nesse projeto.

Ao meu amigo Dr. Fernando Portela, pelo incentivo e apoio incondicional prestado durante o desenvolvimento deste trabalho, com conselhos, ideias, propostas e incentivos na vida acadêmica.

Ao Dr. Camilo Farias pelas considerações iniciais e ideias prestadas na qualificação.

Ao meu primo Wiaslan, que me deu suporte e ajuda no início desse sonho.

A minha amiga Ludiane Alves, que por várias vezes busquei socorro e auxilio e sempre obtive ajuda na sua pessoa, com muita gentileza e carinho.

Aos amigos que conviveram comigo em república: Soares, Tadeu, Élison, Ricardo, Janílson, Emanuel, Vagner, Romildo, Hamurábi e Clementino, pois sempre foram grandes amigos e me proporcionaram momentos de muita alegria e distração.

Ao amigo Beto, que desde o início do projeto sempre me ajudou com a parte técnica e que sempre estava disposto a ajudar no que precisasse.

Aos amigos que sempre levarei no coração e que me ajudaram durante a pesquisa, Dél Carlos, Vitória Celestino, Cristiane Queiróz e Emanuel Farias, este último que sempre esteve presente em todos os momentos, angustiantes e alegres, sempre disposto me ajudando com todo o suporte do laboratório de Resíduos Sólidos.

Aos amigos Antônio Filho, Uilma Laurentino, Dr. Douglas Fregolente, Msc. Rovílson Bueno, pelos momentos agradáveis de conversas e conselhos proporcionados ao meu crescimento pessoal e profissional... enfim, a todos os amigos lembrados e não lembrados que fazem parte da minha vida.

A direção e os colegas da EEEFM Benardino José Batista, pelo apoio incondicional.

"Aquele que não sabe e sabe que não sabe é humilde. Ajuda-o. Aquele que não sabe e pensa que sabe é ignorante. Evita-o. Aquele que sabe e pensa que não sabe está dormindo. Desperta-o. Aquele que sabe e sabe que sabe é sábio. Segue-o".

(Provérbio Chinês)

FREITAS, A. J. F. de. **Monitoramento de Biodigestores Alimentados por Resíduos e Dejetos da Agroindústria (Abatedouro e Queijeira) gerados na Região de Pombal - PB.** 2014. 56p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais). Programa de Pós-Graduação em Sistema Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2014.

RESUMO

Este trabalho investigou o desempenho de dois biodigestores anaeróbios (tipo batelada), alimentados por resíduos e dejetos da agroindústria (resíduos dos abatedouros e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite), gerados na Região de Pombal – PB, com fins de produzir biogás e biofertilizante. Para tanto, construíram-se dois reatores anaeróbios, com capacidade de 220 L, e ativados com proporções diferentes de misturas de biomassa, e então, diluídos na razão 1:1 (mistura de biomassa/água). O monitoramento procedeu por 35 dias, sendo avaliados os substratos nos tempos de 0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias de retenção hidráulica através dos parâmetros físicos químicos, tais como, temperatura, pH, condutividade, sólidos totais, voláteis e fixos. Além de verificar os macronutrientes (NPK) para os afluentes e efluentes de ambos os biorreatores. A produção do biogás, também foi investigada, buscando inferir sobre a eficiência dos processos de biodigestão anaeróbia. Os resultados apontaram que durante todo o processo da biodigestão o biodigestor B (sem o soro de leite) obteve melhor desempenho, embora os valores das análises não tenham sido muito distantes do biodigestor A. No entanto são significativas, em virtude deste possuir pH alcalino (7,96), obter melhor reduções de sólidos totais e voláteis (70%), maior fixação dos macronutrientes (NPK) em seu efluente (biofertilizante) nas concentrações de 18,84 g/kg, 15,32 g/kg e 39,06 mg/kg, respectivamente Nitrogênio, Fósforo e Potássio. No que concerne à produção de biogás, ambos os biorreatores iniciaram sua produção a partir do 14° dia, sendo que no 35° dia registrou-se 2,4 L e 3,1 L, respectivamente biodigestor A e B. O biodigestor A apresentou vazamentos em alguns pontos de conexões, mas que fora concertado de imediato. Apesar deste biodigestor, ter sido um pouco mais ácido em relação ao outro devido conter soro de leite na sua mistura não foi necessário suplementação de alcalinidade. Por fim, pode ser inferido que os resultados foram satisfatórios, principalmente os obtidos no acompanhamento do biodigestor B. Fazendo-nos entender que o aproveitamento destes rejeitos gerados pelas agroindústrias da região de Pombal – PB podem ser trabalhadas através da biodigestão, visando dois excelentes subprodutos, biogás e biofertilizante, que contribuirão não somente como propostas de modelos sustentáveis, mas também como forma de incrementar o lucro gerado por estas atividades na região.

Palavras-chave: Bioenergia; Agroindústria; Resíduos; Dejetos. Biodigestão Anaeróbia; Biofertilizante.

FREITAS, A. J. F. de. **Monitoring Reactor Powered by Residues and Wastes of Agricultural Industry (Slaughtering and Cheese dairy) generated in the Region of Pombal - PB**. 2014. 56p. Dissertation (Master in Agribusiness Systems). Programa de Pós-Graduação em Sistema Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2014.

ABSTRACT

This paper discuss the performance of two anaerobic digesters (batch type) powered by the agroresidues and wastes (wastes from slaughterhouses and cattle dung with and without addition of whey), generated in the Region of Pombal - PB with purpose to produce biogas and biofertilizer. Two anaerobic reactors with a capacity of 220 L were constructed and activated with different proportions of mixtures of biomass and then diluted at 1:1 (mixed biomass / water). The monitoring proceeded along 35 days, the substrates were evaluated at times 0, 7, 14, 21, 28 and 35 days of hydraulic retention through physical chemical parameters, such as temperature, pH, conductivity, total volatile and fixed solids. Besides checking the macronutrients (NPK) for the affluent and effluent of both bioreactors. The biogas production was investigated seeking to infer the efficiency of anaerobic digestion processes. The results showed that during the process of digestion the reactor B (without the whey) performed better, although the values of the tests were not very far from the digester A. Nevertheless they are significant because that last one has alkaline pH (7.96), shows more reductions of total and volatile solids (70%), greater fixation of macronutrients (NPK) in their effluent (biofertilizer) in concentrations of 18.84 g/kg, 15.32 g/kg and 39.06 mg/kg, respectively Nitrogen, Phosphorus and Potassium. Regarding the production of biogas, both bioreactors started its production from the 14th day, and on the 35th day it was recorded 2.4 L and 3.1 L, respectively for the digester A and B. The reactor A showed leaks at some points of connections, but that was repaired immediately. Despite this digester has been slightly more acid over the other due to contain whey in a mixture it was not necessary a supplementation of alkalinity. Finally, it can be inferred that the results were satisfactory, especially those obtained in monitoring the reactor B. Making us understand that the use of these wastes generated by agribusinesses in the region of Pombal - PB, can be worked through biodigestion, targeting two excellent byproducts, biogas and fertilizer, which will contribute not only as proposals for sustainable models, but also as a way to increase the income generated by these activities in the region.

Keywords: Bioenergy; Agribusiness; Residues; Wastes; Anaerobic Digestion; Biofertilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. 2 Etapas da degradação anaeróbia dos componentes orgânicos presentes nos efluentes e dos principais grupos de bactérias 26
Figura 3. 1 a) Vista frontal em corte do biodigestor em batelada, realçando os elementos fundamentais para sua construção. (b) Representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor 56

Figura 4. 1 Localização geográfica do município de Pombal-PB 33
Figura 4. 2 Biodigestor tipo tubular vertical (PVC) 34
Figura 4. 3 Biodigestores A e B ativados 36

Figura 5. 1 Quantidade de Biogás Produzido no Período de 35 dias 45
Figura 5. 2 Imagens do Teste de Chama Realizada em um dos Biodigestores 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 5. 1 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes às Misturas de Biomassa, antes do Processo da Biodigestão Anaeróbia. Médias em Triplicatas. 38
Tabela 5. 2 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes aos Substratos do Biodigestor "A" Monitorados por 35 dias 40
Tabela 5. 3 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes aos Substratos do Biodigestor "B" Monitorados por 35 dias 41
Tabela 5. 4 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos correspondentes aos Efluentes, ao final da Biodigestão Anaeróbica 43

LISTA DE QUADROS

Quadro 4. 1 Discriminação dos materiais utilizados para construção do biodigestor de batelada 34
Quadro 4. 2 Quantidades de matéria prima (Biomassa) e água na mistura 35
Quadro 4. 3 Técnicas de caracterização adotadas para analises nos afluentes e efluentes dos biodigestores 37

SUMÁRIO

RESUMO vi
LISTA DE FIGURAS viii
LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE QUADROS x

1. INTRODUÇÃO 13

2. OBJETIVOS 15
2.1 GERAL 15
2.2 ESPECÍFICOS 15

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO 16
3.1.1 Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo 17
3.2 RESÍDUOS E DEJETOS: FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL 19
3.2.1 Biomassa Residual em Abatedouros 20
3.2.2 Biomassa Residual em Laticínios 22
3.3 BIODIGESTORES 23
3.4 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA 25
3.4.1 Condições para a Biodigestão 27
3.5 BIOGÁS 29
3.6 BIOFERTILIZANTE 31

4. MATERIAL E MÉTODOS 33
4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL – BIODIGESTOR 33
4.2. MATÉRIA PRIMA 35
4.3 ATIVAÇÃO E MONITORAMENTO NOS BIODIGESTORES 35
4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO 37

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA DA BIOMASSA (AFLUENTE) 38
5.2 MONITORAMENTOS DOS PROCESSOS DE BIODIGESTÃO 39

5.2.1 Caracterização dos Substratos (Afluentes) 39
5.2.2 Caracterização dos Efluentes (Biofertilizantes) 42
5.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO QUANTO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS 44

6. CONCLUSÕES 47
REFERÊNCIAS 49
ANEXOS 56

1. INTRODUÇÃO

Em sua acepção mais rigorosa, energia é a capacidade de promover mudanças, que se apresenta em muitas formas, como a energia térmica, energia elétrica e a energia química, sempre representando um potencial para causar transformações, sejam naturais ou determinadas pelo homem (BNDES e CGEE, 2008). O avanço tecnológico associado a um intenso processo de urbanização tem causado sérios problemas ambientais ao planeta, sobretudo às nações menos desenvolvidas ou em estágio de desenvolvimento. Dentre os aspectos que causam impactos ambientais negativos ao meio ambiente se destacam os resíduos sólidos e líquidos, visto que tais materiais são gerados inevitavelmente das atividades desenvolvidas nas cidades e também no campo.

Segundo Reis (2012), no Brasil o processo mais utilizado para tratamento de fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos é o tratamento aeróbio (compostagem), que objetiva à obtenção do composto orgânico para aplicação na agricultura. Em contrapartida, o processo anaeróbio embora apresente uma taxa de bioestabilização da matéria orgânica mais lenta, configura-se como uma das alternativas que mais tem crescido nos últimos tempos, haja vista seu potencial de reaproveitamento (biodigestor).

O tratamento dos afluentes orgânicos no biodigestor promove a estabilização do material, resultando na produção do biogás (gás metano em sua maior concentração) para geração de energia, e do biofertilizante, sendo este último propício para o restabelecimento do teor de húmus e nutrientes no solo, melhorando as propriedades físicas e químicas, além de ajudar na melhoria da atividade microbiana do mesmo, podendo ser aplicado diretamente sob a forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais de infraestrutura e necessidades (GONDIM, 2010; DANTAS et. al., 2006).

Para tanto, algumas atividades agroindustriais (matadouros, abatedouros e frigoríficos) dispõem de elevada geração de resíduos sólidos e líquidos, apresentando em suas águas residuais alta concentração de sangue, gordura, excremento e substâncias contidas no trato digestivo dos animais, dentre outros, caracterizando um efluente com elevada carga de matéria orgânica de grave poluição nos corpos d'água causando processo de eutrofização destes (FEISTEL, 2011). Logo, faz-se necessário promover o tratamento de tais dejetos para tentar garantir com isso a manutenção da qualidade desses recursos hídricos.

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004), são denominados resíduos sólidos os resultantes de atividades industriais, doméstica, agrícola entre outros, incluindo os lodos das estações de tratamento de efluentes (ETE's), resíduos gerados em equipamentos e

instalações de controle da poluição, os quais não podem ser lançados nos esgotos públicos, nem no ambiente.

Ciente da geração dos mais variados resíduos provenientes da agroindústria, estudos apontam que estes podem ser tratados por processos biológicos visando à ciclagem energética de nutrientes e preservação do meio ambiente (COSTA et al., 2005). Do ponto de vista econômico e ambiental muito destes produtos residuais poderiam ser transformados em subprodutos úteis para consumo humano, alimento de animais, indústria de rações ou fertilizantes (PACHECO, 2008).

Outra atividade de suma importância na economia das propriedades rurais é a pecuária leiteira, onde grande parte da produção é de agricultura familiar e a matéria prima é industrializada nos laticínios de pequeno e médio porte, onde se faz necessário um cuidado adequado no despejo dos resíduos sólidos e líquidos provenientes da mesma. Aproximadamente 90% do volume de leite utilizado na fabricação de queijo resulta no soro, que é utilizado na alimentação de animais (suínos) e na produção de ricota, além do descarte feito de maneira inadequada, diretamente em lagoas e/ou rios sem tratamento prévio (LACERDA; OLIVEIRA; CARUSO, 1990). Este soro contém sais minerais, lactose, nitrogênio não proteico e é rico em proteínas solúveis, que são componentes que podem ser usados no tratamento anaeróbio em biodigestores.

Considerando que a Região do Sertão Paraibano, especificamente a Microrregião da cidade de Pombal - PB aponta expressa representação na atividade leiteira de pequeno e médio porte, a fabricação artesanal de queijo é representada por cerca de 36 microempreendimentos, distribuídos em sua maior parte na zona rural do referido município. Esses microempreendimentos contribuem significativamente na formação de renda dos produtores de leite e na economia da região. Diariamente essas queijeiras processam mais de 200.000 litros de leite de vaca para a produção de queijo de coalho, queijo de manteiga, manteiga da terra e subprodutos como nata e creme (ALMEIDA, 2010). Segundo relatos de Araújo (2013), "em média, para fabricação de 1 Kg de queijo necessita-se de 10 litros de leite, gerando-se 9 litros de soro."

Para tanto, o aproveitamento dos resíduos e dejetos da agroindústria (abatedouros e queijeiras) nos direcionam ao benefício na redução do potencial poluidor para região. De modo que, o presente estudo propôs avaliar o desempenho do processo da biodigestão anaeróbia, em biodigestores ativados com mistura de resíduos da agroindústria (resíduos dos abatedouros e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite, oriundo das queijeiras).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Investigar o desempenho de dois biodigestores anaeróbios (Batelada), alimentados por resíduos e dejetos da agroindústria (resíduos dos abatedouros e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite), gerados na Região de Pombal - PB, com fins de produzir biogás e biofertilizante.

2.2 Específicos

- Construir dois biodigestores anaeróbios, tipo batelada, visando o baixo custo;
- Ativar os biodigestores com biomassa diferenciada (mistura de resíduos de abatedouro e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite) provenientes de resíduos da agroindústria da Região de Pombal - PB;
- Caracterizar os afluentes dos dois biodigestores por meio de parâmetros físico-químicos, tais como: pH, condutividade elétrica, sólidos totais, voláteis e fixos, e quantidades de Nitrogênio, Fósforo e Potássio presentes no substrato;
- Monitorar os dois sistemas ao longo do processo da biodigestão anaeróbia;
- Avaliar a influência da geração de biogás em função do tempo de retenção hidráulica (TRH) no intervalo de 07 a 35 dias, em ambos os biodigestores;
- Caracterizar os efluentes (biofertilizante) ao final do processo da biodigestão, através de parâmetros físico-químicos, tais como: pH, condutividade elétrica, sólidos totais, voláteis e fixos, e quantidades de Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Contexto Energético

Os constantes conflitos envolvendo os países do Oriente Médio, que estão nas regiões das maiores reservas de petróleo, causam instabilidade ao suprimento e oscilações nos preços dos combustíveis fósseis, forçando vários países a buscarem alternativas que possibilitem reduzir à dependência em relação às importações desse produto. Todos esses fatores, cuja importância varia de país para país, vêm criando oportunidades para a viabilização econômica de novas fontes de energia de biomassa (JARDINE; DISPATO; PERES, 2009).

Atualmente o sistema energético internacional é fortemente dependente de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás): cerca de 80% do consumo mundial de energia se origina dessas fontes não renováveis, consumo este que apresentava um crescimento anual de cerca de 2% (média em 20 anos), e que nos últimos cinco anos cresceram em média 3,1% ao ano (OGEDA; PETRI, 2010). No entanto, de acordo com a previsão da Agência Internacional de Energia (AIE), até o ano de 2030 os biocombustíveis representarão cerca de 7% da matriz energética mundial, sendo a União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil os principais produtores e consumidores (JARDINE; DISPATO; PERES, 2009).

Tal crescimento no mercado internacional é esperado devido ao aumento do preço do petróleo, e também por que os países desenvolvidos que assinaram o Protocolo de Quioto se comprometeram a reduzir suas emissões de gases poluentes.

As fontes alternativas e renováveis de energia estão cada vez mais em voga no cenário mundial. Guerra e Youssef (2011) relatam em seu estudo que: "Há uma ascensão dos biocombustíveis como parte de uma mudança global advinda de uma economia do petróleo hegemônica no século XX em direção a uma bioeconomia, no sentido de sustentabilidade e cautela acerca dos recursos naturais".

Uma das forças propulsoras da demanda por bioenergia diz respeito às buscas por políticas públicas que minimizem a crise ambiental e substitua grande parte da dependência dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, uma vez que, atualmente é notório o aumento da temperatura média do planeta visto que a concentração de gás carbônico na atmosfera elevou-se a 31% nos últimos 250 anos devido à queima desses combustíveis fósseis e a produção de cimento, os quais são responsáveis por cerca de 75% da emissão desse gás (PLANO NACIONAL DA AGROENERGIA, 2011).

Segundo Oliveira (2011), existe um debate no Brasil sobre o aumento da segurança no fornecimento de energia, impulsionado por efeitos de ordem ambiental e social para a redução da dependência de combustíveis fósseis. Esse debate pode contribuir com o interesse global por soluções sustentáveis por meio da geração de energia extraída de fontes limpas e renováveis.

Nesse aspecto, o Brasil ocupa posição de destaque em função de sua liderança nas principais frentes, tanto em termos de negociação e regulamentação quanto de participação significativa das fontes renováveis de sua matriz energética (GUERRA; YOUSSEF, 2011).

No que concerne a esta prerrogativa, a Lei Brasileira nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, pois ela prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

A referida política também institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, os cidadãos e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na logística reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo. Partindo desse pressuposto, criam-se metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

A Implantação e posterior efetivação dessa política coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na logística reversa quando na coleta seletiva, além disso, os instrumentos da PNRS ajudarão o Brasil a atingir uma das metas do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que é de alcançar o índice de reciclagem de resíduos de 20% em 2015.

3.1.1 Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O mau uso dos recursos naturais atrelado ao atual modelo de desenvolvimento na busca por energia pode comprometer a qualidade dos recursos naturais nas gerações futuras.

Tendo em vista a busca por soluções a médio e a longo prazo, criaram-se vários debates, mecanismos e programas de desenvolvimento ambiental com destaque especial ao Protocolo de Quioto. A partir deste Protocolo se almeja uma cooperação mútua entre diversos países para alcançar alternativas sustentáveis que visem diminuir ou cessar os presentes e futuros impactos ambientais negativos que assolam os ecossistemas do planeta Terra.

De acordo com Moreira e Giometti (2008):

> Os problemas ambientais globais começaram de fato a fazer parte da agenda internacional com a Conferência de Estocolmo, em 1972, mas a questão do aquecimento global só começou a adquirir uma maior importância com a realização da Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979, pela Organização Meteorológica Mundial (em inglês, World Meteorological Organization (WMO)) das Nações Unidas. Nesta ocasião, os países participantes chegaram à conclusão de que a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as mudanças no uso do solo aumentaram o montante de CO_2 na atmosfera em 15% durante os cem anos que precederam esta conferência (BRAZ, 2003, 140p).

O Protocolo de Quioto enuncia que os países desenvolvidos aceitaram compromissos diferenciados de redução ou limitação de emissões entre 2008 e 2012, representando no total dos países desenvolvidos, redução em pelo menos 5% em relação às emissões combinadas de gases de efeito estufa (GEE) de 1990. São consideradas emissões aquelas geradas por atividades humanas no setor energético, em processos industriais, no uso de solventes, no setor agropecuário e no tratamento de resíduos (MOREIRA; GIOMETTI, 2008).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é definido no protocolo de Quioto apenas em termos de redução de emissões, isso implica a transferência de tecnologias dos países industrializados para os países em desenvolvimento, de forma que os últimos tenham uma produção limpa com controle de emissões e mitigação do efeito estufa (FERRAREZ et al., 2010).

Os países emergentes têm, através do MDL, a oportunidade de obter benefícios de projetos de desenvolvimento sustentável e controle de emissões. Tais projetos originam os chamados "créditos de carbono", que podem ser utilizados pelos países com alto grau de industrialização e que concordaram em reduzir suas emissões de gases de efeito estufa para cumprimento de suas metas de redução de emissões. De acordo com o MDL, cada tonelada métrica de CO_2 que deixa de ser emitida por um país em desenvolvimento pode ser negociada no mercado mundial por meio dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs). Caso os países poluidores não conseguirem reduzir suas emissões, poderão comprar CERs (créditos de carbono) de países em desenvolvimento e utilizá-los para cumprir suas obrigações (FERRAREZ et al., 2010).

Atualmente, o mercado permite que os países usem um sistema de troca para conseguirem atingir suas metas, ou seja, é um espaço internacional de negócios que resulta da compra e venda de permissões de emissão e redução de créditos de carbono e ao mesmo tempo em que se consegue a redução da emissão global de GEEs, se tem o aumento da rentabilidade e de investimento em novas formas de produção sustentável (SILVA; MACEDO, 2012). Com isso, o comércio dos créditos de carbono através do MDL para o Brasil é de suma importância em virtude de aproveitar um grande potencial brasileiro para a produção de energia limpa, além de projetá-lo para o contexto ambiental internacional, e impulsioná-lo para uma nova concepção de crescimento dos empresários do século XXI que têm agregado aspectos socioambientais nas projeções dos projetos corporativos, visando resultados positivos para a sociedade, benefícios sociais, ambientais e econômicos (SOUZA; ANDRADE, 2014).

3.2 Resíduos e Dejetos: Fontes para Produção de Energia Renovável

De acordo com a norma brasileira NBR 10004/2004 sobre Resíduos sólidos – classificação, estes são definidos como:

> aqueles resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004/2004, 01 p).

Já os dejetos, conforme (SILVA; FRANCISCO 2010), dizem respeito aos rejeitos dos resíduos, principalmente os presentes no setor da agroindústria. Assim sendo, tanto os resíduos como os dejetos, são entendidos como biomassa que podem ser insumos para a produção de energia e biofertilizantes.

Os resíduos e os dejetos são considerados preocupantes, e torna-se cada vez mais complexo o seu tratamento e sua disposição final. Ademais, o crescimento da população mundial acarretou um aumento significativo na geração dos resíduos sólidos, e com o desenvolvimento tecnológico, o aumento foi não só quantitativo como qualitativo destes resíduos, visto que são lançados no mercado cada vez mais, novos produtos perigosos ao meio ambiente (PINTO, 2006).

O Governo Federal tem procurado instituir mecanismos e leis para a efetivação do cuidado e manejo final dos resíduos sólidos e líquidos, de modo que técnicas de reaproveitamento têm ganhado espaço no tratamento final desses materiais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como objetivos: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais negativos; gestão integrada de resíduos sólidos; incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético; (BRASIL. Lei nº 12.305/2010. Art.7, inciso XIV).

Para tanto, é imprescindível o gerenciamento adequado de resíduos sólidos e líquidos, tendo em vista que o tratamento adequado possibilita ganhos ambientais quanto à quantidade de carga poluidora que deixa de ser lançada nos recursos hídricos, mananciais e solos, assim como, quanto à possível geração de gás metano em condições de biodigestão anaeróbia, sendo um recurso energético renovável, e também o biofertilizante que pode ser utilizado em tratamento de solos pobres em nutrientes.

3.2.1 Biomassa Residual em Abatedouros

A atividade agropecuária brasileira vem assumindo nos últimos anos uma importante participação na economia, sendo um dos setores relevante no Produto Interno Bruto (PIB) e na geração de divisas para o País (DOTTO; WOLFF, 2012). Na última década o Brasil liderou o ranking dos países produtores e exportadores de carne bovina, no qual alavancou a economia do país e aumentou a participação da cadeia primária no Produto Interno Bruto.

Em 2013, o abate de bovinos no Brasil alcançou pelo segundo ano consecutivo recorde histórico na série anual, com a marca de 34 412 milhões de cabeças abatidas. A produção de carcaças de bovinos também alcançou em 2013 seu segundo recorde consecutivo na série histórica, com a marca de 8 167 milhões de toneladas (IBGE, 2014).

O volume de resíduos gerados por um frigorífico ou abatedouro varia de acordo com o número de animais abatidos, grau de industrialização da carne, aproveitamento de subprodutos e esquema de limpeza adotado (MARTINHO, 2013).

Com isto, a caracterização de efluentes é uma tarefa básica para o equacionamento adequado do problema de tratamento dos mesmos, pois essa é a etapa de trabalho que gera informações quanto à composição e vazão da água residual, levando em conta as suas

variações ao longo do tempo em função das atividades responsáveis por sua geração. Com base nessas informações, podem ser adotados métodos físicos, químicos ou biológicos de tratamento (PEREIRA, 2004).

No processo de abate, os seguintes subprodutos e resíduos ficam disponíveis: I- estrume, conteúdos do rúmen e intestinos; II- produtos comestíveis como o sangue e fígado (aves); III- produtos não comestíveis como pelos e ossos; IV- gordura retirada das águas residuais; e V- águas residuais. Do ponto de vista econômico e ambiental, muito destes produtos residuais poderiam ser transformados em subprodutos úteis, tanto para consumo humano quanto comida para animais, indústria de rações ou fertilizantes (CETESB, 2003).

Os abates feitos em más condições, a falta de equipamentos para processamento dos subprodutos e o baixo valor final destes contribui bastante para a produção de resíduos nos matadouros e abatedouros. O uso liberal da água leva a uma grande quantidade de águas residuais, pois a descarga direta de águas residuais não tratadas nas águas superficiais ou no sistema público de esgotos causa mau cheiro, água pobre em oxigênio, problemas sanitários e ambientais (DORS, 2006).

Segundo RESOLUÇÃO CONAMA n° 430/2011, Art. 5º: "Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediária e final no seu enquadramento".

Esses resíduos, se manejados inadequadamente, podem causar impactos negativos ao meio ambiente. Os prejuízos ambientais são ainda maiores quando esses resíduos orgânicos são arrastados para os cursos d'água em virtude de possuir alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), reduzindo o teor de oxigênio da água. Além disso, os diversos nutrientes contidos nesses resíduos, principalmente N, P e K, estimulam o crescimento de plantas aquáticas e a eutrofização dos corpos d'água (DOTTO; WOLFF, 2012).

O tratamento de resíduos oriundos da criação animal ou industrial é de suma importância para a saúde pública, pois estes resíduos em geral apresentam concentrações elevadas de microrganismos patogênicos e de sólidos devido à presença de óleos, graxas e material proteico, o que lhes confere alta capacidade de poluição, associada com a emissão de fortes odores (MARTINHO, 2013).

Corroborando com essas prerrogativas, sabe-se que alguns setores da agroindústria lançam esses resíduos diretamente em cursos d'água, e na maioria dos casos possuem carga orgânica elevada (efluentes proveniente de abatedouros/e ou matadouros) e os cursos d'água (rios de pequenos portes) não são capazes de diluí-las, ocasionando assim, águas receptoras

impróprias à vida aquática e a qualquer tipo de abastecimento: agrícola, comercial, industrial, municipal ou recreativo, haja vista que tais efluentes são constituídos como agentes de poluição das águas, ocasionando uma ameaça à saúde pública (SCARASSATI et al., 2003).

Não só as concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P) representam periculosidade ao meio ambiente, o sangue e o conteúdo ruminal que também fazem parte dos efluentes de abatedouro contêm elevadas cargas orgânicas, o que necessita de altas quantidades de oxigênio para que ocorra a estabilização desses resíduos e a consequente redução da concentração de oxigênio dissolvido faz com que o meio hídrico torne-se inóspito (GALLETTI et al., 2010).

Seguindo-se esse pensamento e buscando mecanismos adequados para a solução de tais problemas, as agroindústrias geram os mais variados resíduos que podem ser tratados por processos biológicos, tais como o aeróbio e o anaeróbio, visando à reciclagem energética e preservação do meio ambiente (FEISTEL, 2011).

3.2.2 Biomassa Residual em Laticínios

Outra agroindústria que gera resíduo (soro de leite) são as de laticínios. O soro do leite é obtido através do processamento do queijo, no qual a caseína é insolúvel no seu ponto isoelétrico pela ação da renina, sendo o líquido remanescente chamado de soro doce. Este pode também ser obtido por precipitação ácida, sendo chamado de soro ácido. Os tipos de soro obtidos por esses dois diferentes processos apresentam composições diferentes, e contém de 4 a 6 g de proteínas por litro (ARAÙJO, 2013).

Atualmente várias agroindústrias de pequeno porte durante o preparo do queijo, descartam o soro do leite, produto de elevado valor nutritivo, e na tentativa de procurar condições que visem à diminuição de pelo menos parte dos desperdícios neste tipo de indústria muitos destinam este coproduto para alimentação animal (PARZIANELLO, 2011).

Segundo dados do IBGE, o Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de leite do país com 3 460 016 litros, ficando atrás somente de Minas Gerais, com 6 164 591 litros, com participação de 26,2% no total nacional, o qual tem gerado nos últimos anos uma produção de queijos de mais de 745 mil toneladas/ano (IBGE, 2014).

Sabe-se, portanto, que o soro é um produto capaz de promover poluição ambiental quando descartado de maneira inadequada. Sua descarga em cursos d'água pode provocar a destruição da flora e fauna devido à sua alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Sua eliminação é um dos maiores problemas enfrentados por boa parte das indústrias de laticínios, as quais consideraram o soro por muitos anos como um subproduto de baixo custo,

despejando-o na rede pública de esgotos, rios ou lagos, causando sérios riscos ao meio ambiente, pois, certamente os mesmos não possuem condições de absorver uma carga poluidora extremamente rica em elementos orgânicos (ARAÚJO, 2013).

Vários métodos para tratamento e utilização do soro vêm sendo propostos com o intuito de reduzir o índice poluidor, conforme relatos apontados na literatura científica (ARAÚJO, 2013; CANTRELL, 2008; LACERDA; OLIVEIRA; CARUSO, 1990). Dentre eles está a biodigestão anaeróbia convertendo os poluentes em produtos gasosos, em específico, o metano e o gás carbônico, podendo o primeiro ser utilizado como fonte de energia.

De acordo com Araújo (2013) e Almeida (2010), a produção de queijos na microrregião de Pombal - PB está em torno de 48,5 ton./mês, isso corresponde a aproximadamente 437 000 litros de soro de queijo gerados que se despejados na rede pública de esgoto, rios ou lagos sem nenhum tratamento prévio, podem causar sérios riscos ao meio ambiente, pois certamente os mesmos não possuem condições de absorver uma carga poluidora extremamente rica em elementos orgânicos.

3.3 BIODIGESTORES

O biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é inserido material orgânico em solução aquosa, e este passa por um processo de decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor com a consequente geração de biogás chama-se digestão anaeróbica (DEGANUTTI et al., 2002).

O primeiro biodigestor data do ano de 1857 em Bombaim, na Índia. O mesmo foi destinado com o intuito de produzir gás combustível para um hospital de hansenianos, o que torna a biodigestão uma tecnologia com pelo menos 150 anos. Entretanto, com a abundância de energia fóssil que vigorou no mundo até a primeira crise do petróleo em 1970, os biodigestores só foram desenvolvidos e aplicados em larga escala na Índia e na China (BALMANT, 2009).

Com a primeira crise do petróleo a biodigestão passou a ser uma alternativa viável para a produção de energia principalmente no campo, e outro aspecto que fez com que se aumentasse o interesse pela biodigestão foi à questão sanitária. Até a década de 70 a maioria dos processos de tratamento biológico de esgoto eram do tipo aeróbio, ou seja, utilizavam oxigênio para degradar a matéria orgânica (SARAVANAN; SREEKRISHNAN, 2006).

Com o aumento do interesse na biodigestão, muitos biodigestores foram propostos e a tecnologia de biodigestores avançou bastante, tanto no campo como no tratamento sanitário (SARAVANAN; SREEKRISHNAN, 2006). Os biodigestores são divididos em dois grandes grupos, a saber:

- Biodigestores de uso agrícola;
- Biodigestores de uso sanitário.

É importante ressaltar que os biodigestores de uso sanitário podem ser utilizados no campo, bem como nas indústrias que precisam tratar seus dejetos industriais, principalmente em indústrias de alimentos (BALMANT, 2009).

Entre os biodigestores de uso agrícola podem-se destacar vários modelos (indiano, chinês, canadense, paquistanês, etc.), cada um com suas características, vantagens e desvantagens. Porém, existem apensas dois tipos básicos de biodigestores, cada qual classificado de acordo com a frequência de operação, a saber: bateladas e contínuos.

a) Biodigestor em Batelada:

Os biodigestores em bateladas são aqueles que trabalham de forma descontínua, ou seja, seu processo de biodigestão é dado por cargas que são colocadas no compartimento de fermentação. Tal processo é utilizado quando o sistema não pode ser alimentado com matéria orgânica diariamente ou quando não se exige uma produção do biogás em larga escala e de forma continua, pois a demanda de matéria orgânica diária seria muito baixa. Nesse tipo de biodigestor, a matéria orgânica é posta toda de uma só vez, e então ele é fechado de uma forma que não permite a entrada de oxigênio (hermeticamente) até que o processo de digestão anaeróbica ocorra. Somente quando a produção do biogás cair, indicando que a matéria orgânica já foi decomposta, é que o biodigestor é aberto novamente para a retirada da matéria restante, o biofertilizante. Caso seja necessário é inserida uma nova carga de biomassa (BARRERA, 2011).

De acordo com Deganutti e colaboradores (2002), sobre os biodigestores em batelada, estes apontam que são construídos mediante dimensões e formatos adequados com o critério da necessidade. Em anexo, segue as especificações do decorrente autor, Figura 3.1 a e b.

b) Biodigestor Contínuo:

Os biodigestores de operação contínua funcionam com cargas diárias de matéria orgânica que são movimentadas pela própria carga hidráulica dentro do biodigestor, devendo

a matéria ser sempre diluída para, além de evitar entupimentos e/ou formação de crostas, haja movimentação de entrada de biomassa e saída dos produtos (BEZERRA et al., 2013).

Os modelos indiano, chinês e paquistanês são modelos de operação contínua, e os dois primeiros são também os mais utilizados aqui no Brasil devido ao fácil manuseio, alto rendimento e baixo custo.

3.4 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A biodigestão anaeróbia é o processo pelo qual a matéria orgânica é convertida na sua grande parte em gás metano e gás carbônico como os gases de maior constituição. Na ausência de oxigênio são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como NO_3^- (redução de nitratos), SO_4^{2-} (redução de sulfatos), ou CO_2 (formação de metano) (PARZIANELLO, 2011).

A formação do metano não ocorre em ambiente onde oxigênio, nitratos ou sulfatos encontram-se prontamente disponíveis como aceptores de elétrons. Em ambientes naturais tais como pântanos, solo, sedimentos de rios, lagos e mares, assim como nos órgãos digestivos de animais ruminantes ocorre à produção de metano. A digestão anaeróbia de compostos orgânicos complexos é normalmente considerada um processo de dois estágios (CHERNICARO, 1997), a saber:

No primeiro estágio um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas converte os compostos orgânicos complexos em outros compostos. Compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídeos são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis.

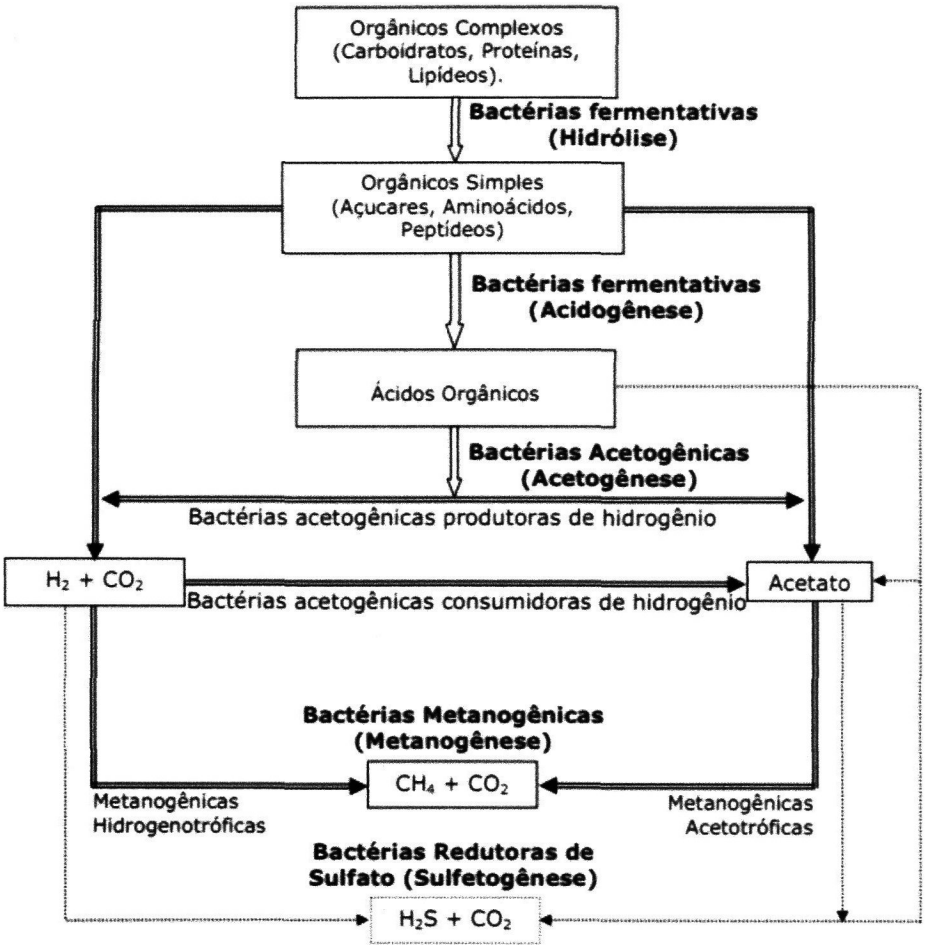
No segundo estágio ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos: metano e gás carbônico, conforme ilustrado na Figura 3.2. Essa conversão é efetuada por um grupo especial de microrganismos anaeróbios estritos, classificados com arqueas, denominados metanogênicas.

Moraes (2000) relata que na hidrólise a matéria orgânica complexa afluente é convertida em materiais mais simples, dissolvidos através da ação de exoenzimas produzidas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Na acidogênese, os produtos solúveis oriundos da fase anterior são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas sendo convertidos em diversos compostos mais simples que são excretados.

Os ácidos graxos voláteis são os principais produtos das bactérias fermentativas, estas são designadas bactérias fermentativas acidogênicas. Na acetogênese as bactérias oxidam os

produtos gerados na fase acidogênica em substratos apropriados (ácido acético) para as bactérias metanogênicas, fazendo parte assim de um grupo metabólico intermediário. A etapa final do processo é efetuada pelas bactérias metanogênicas que são divididas em dois grupos principais em função de sua afinidade por diferentes substratos: as acetoclásticas, que utilizam ácido acético ou metanol na produção de metano e as hidrogenotróficas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono na formação de metano. Quando há presença de sulfato no afluente, muitos dos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS), provocando uma alteração das rotas metabólicas no reator anaeróbio, dessa forma, as BRS passam a competir com as bactérias fermentativas acetogênicas e metanogênicas pelos substratos disponíveis (VAZOLLER, 2006).

Figura 3. 1 Etapas da degradação anaeróbia dos componentes orgânicos presentes nos efluentes e dos principais grupos de bactérias



Fonte: MORAES, 2000.

A bioconversão da matéria orgânica poluente com produção de metano requer a cooperação entre culturas bacterianas. Na atividade microbiana anaeróbia em biodigestores o que se observa é a ocorrência da oxidação de compostos complexos, resultando nos precursores do metano, acetato e hidrogênio (DORS, 2006).

A capacidade de uma bactéria anaeróbia decompor um determinado substrato é específica, dependendo principalmente das enzimas que possui. A eficiência global de conversão da matéria orgânica em produtos estabilizados depende da eficiência de cada reação e do equilíbrio entre as diversas espécies e entre os grupos de bactérias presentes no sistema anaeróbio (PEREIRA, 2004).

O metano é o principal componente do biogás e não tem cheiro, cor, ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe ligeiro odor de ovo podre ou alho (QUADROZ; VALLADARES; REGIS, 2007).

3.4.1 Condições para a Biodigestão

A caracterização dos efluentes por meio de testes de biodegradabilidade é de fundamental importância, uma vez que os efluentes apresentam grande variabilidade quanto à qualidade, quantidade, e presença de compostos orgânicos refratários. Adicionam-se a isso outras características importantes ao tratamento anaeróbio, tais como: pH, alcalinidade, nutrientes inorgânicos, temperatura e a eventual presença de compostos potencialmente tóxicos (SOARES; HIRATA, 1999).

Entre os parâmetros importantes da digestão anaeróbia podemos citar:

a) Temperatura:

As bactérias metanogênicas são bastante sensíveis a variações, especialmente a elevações de temperatura, as quais devem, portanto, sempre ser evitadas. O processo pode ocorrer nas faixas mesofílica (15 a 45 °C) ou termofílica (50 a 65 °C) de temperatura. Na faixa mesofílica a digestão anaeróbia se desenvolve bem em temperaturas desde 30 até 40 °C (temperatura ótima entre 35 °C e 37 °C) (DORS, 2006).

No entanto, o mais importante do que operar na temperatura ótima é operar sem variações significativas na temperatura. Na faixa termofílica a temperatura ótima está entre 57 e 62 °C. A velocidade de digestão é maior a temperaturas termofílicas em relação às mesofílicas. A operação na faixa termofílica resulta em lodos mais facilmente desidratáveis e em maior remoção de patogênicos (DORS, 2006).

Os custos relativos ao aquecimento em regiões de clima frio em geral não compensam a utilização de temperaturas termofílicas. As temperaturas mais distantes da ambiente

provocam variações muito grandes e afetam o processo. Para resíduos que já são gerados a temperaturas relativamente elevadas, pode ser bastante interessante à utilização do processo termofílico de digestão anaeróbia (CETESB, 2003).

b) pH:

De acordo com CETESB (2003), o pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo. Na digestão anaeróbia a faixa de pH ótimo é o resultado das diversas reações que ocorrem no processo. O pH no biodigestor é função do conteúdo de CO_2 no gás, da concentração de ácidos voláteis, além da própria alcalinidade da matéria prima.

As bactérias envolvidas no processo de fermentação são altamente sensíveis às mudanças no pH do meio (pH na solução do biodigestor), sendo que sua queda revela um acúmulo de intermediários ácidos num nível superior ao tolerado pela capacidade tampão do meio, o que pode ser resultado de um desequilíbrio entre a produção e o consumo dessas substâncias decorrente da falta de equilíbrio entre as populações. Segundo Batista (1981) a faixa de operação dos biodigestores é em pH entre 6.0 e 8.0, tendo como ponto ótimo pH 7.0 - 7.2. Fora destes limites, a digestão pode realizar-se, mas com menor eficiência.

c) Nutrientes:

A disponibilidade de alguns elementos é essencial para o crescimento e atividade microbiana. O carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos, pois a relação entre carbono e nitrogênio é fundamental para que haja a formação dos ácidos orgânicos que posteriormente irão ser transformados em biogás. A proporção ideal está entre 20/1 e 30/1. Outros elementos como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês em fortes concentrações tem o efeito inibidor no processo de fermentação (JUNIOR, 2000).

d) Agitação:

Permite melhorar a produtividade assegurando boa homogeneidade do conteúdo do biodigestor e facilitando as trocas térmicas, além disso ela permite assegurar em parte a gaseificação dos resíduos. Essa agitação pode ser feita mecanicamente ou por simples recirculação do gás ou do efluente (DORS, 2006).

e) Alcalinidade:

A medida da alcalinidade mostra o nível da capacidade tampão, sendo por isso importante para a prevenção de quedas de pH. Existem diversas espécies químicas que conferem alcalinidade ao meio: bicarbonatos, sais de ácidos voláteis e outros (DORS, 2006).

f) Tempo de retenção hidráulica:

Esse fator está relacionado com o teor de sólidos totais do material e se refere ao tempo em que uma carga a ser degradada permanece no biodigestor (AUGUSTO, 2011).

g) Concentração de amônia:

A presença de amônia em concentrações muito elevadas pode inibir a degradação da matéria orgânica, a produção de ácidos voláteis e a metanogênese (KELLEHER et al., 2002).

h) Atividade metanogênica específica:

Mede a relação entre a quantidade de substrato consumido e a quantidade de biomassa por unidade de tempo. Ela mede exatamente a capacidade máxima do consórcio de microrganismos existente em um biodigestor em degradar um substrato específico, levando-o até metano e dióxido de carbono (DORS, 2006).

Há uma série de outros parâmetros de controle de processo baseados na resposta do sistema que estão reportados na literatura, porém, mostram-se pouco eficazes ou difíceis de serem usados, ou ainda estão em fase de desenvolvimento (SOARES; HIRATA, 1999).

3.5 BIOGÁS

O biogás é um gás natural resultante da fermentação anaeróbia (na ausência de oxigênio) de dejetos animais, de resíduos vegetais e lixo industrial ou residencial em condições adequadas. O biogás é composto por uma mistura de gases que têm sua concentração determinada pelas características do resíduo e as condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e geralmente apresenta em torno de 65% de metano, de modo que o restante é composto em sua maior parte por dióxido de carbono e alguns outros gases como nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono entre outros, porém, em menores concentrações (COLDEBELLA, 2006).

Segundo Coldebella (2006) não importa qual a forma de utilização do biogás, ela terá como resultado pelo menos uma das seguintes formas de energia: elétrica, térmica ou mecânica. Quando pelo menos uma dessas formas de energia for útil, o biogás proporcionará uma poupança de recursos com importante valor econômico associado, visto que o uso do biogás gera renda e economias, fato que desperta um crescente interesse por essa tecnologia.

Para transformar o biogás em energia elétrica é necessária a utilização de geradores, e para a obtenção de energia térmica faz uso de fornos para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica.

Marcos e colaboradores (2012) avaliaram o tratamento dos afluentes contendo resíduos sólidos e líquidos do matadouro municipal Badajoz, na Espanha, para produção de biogás e então convertê-lo em energia elétrica. O processo foi obtido por biodigestão anaeróbia, reator contínuo, no qual ocorreu sob condição de 37 °C (condições de bactérias mesófilas) por um tempo de retenção hidráulica de 31 dias, avaliando seis vazões: 200, 275, 350, 400, 537, e 672 mL/dia de produção de biogás. Ambos concluíram que a vazão ótima foi de 350 mL/dia para produção de energia, satisfazendo 0,690 m^3 de biogás por N kg DQO (Demanda Química de Oxigênio) obtendo uma concentração de 74% de metano.

Kavacik e Topaloglu (2010) realizaram experimentos de biodigestão anaeróbia utilizando a mistura de soro de queijo e esterco de curral em reator contínuo, no qual investigaram a quantidade diária de biogás, as taxas de produção de metano, eficiências de remoção de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) da referida misturas, sob temperaturas de 25 e 34 °C, e duas proporções diferentes de matéria sólida (8% e 10%) a 20 dias de THR. A investigação inferiu que a produção máxima de biogás diária foi obtido as 1.510 m^3 m^{-3} 3 d^{-1}, em 5 dias de THR, sendo que para a mistura com 8 % do total de matéria sólida a 34 °C, produziu 60 % de metano. A redução máxima de DQO fora de 54%. No entanto, a eficiência máxima na remoção de ST e SV foram de 49,5% e 49,4% em um TRH de 10 dias a 34 ° C.

Diante destes resultados e sabendo do alto teor de matéria orgânica e biodegradabilidade do soro de leite, o método mais adequado para o tratamento ambientalmente indicado para o mesmo é a digestão anaeróbia, de maneira que também pode ser aplicado juntamente com resíduos agrícolas locais, como esterco.

3.6 BIOFERTILIZANTE

Devido à magnitude de sua produção agrícola, sob demanda crescente nacional e internacional e às características de baixa fertilidade natural dos solos, o Brasil tornou se grande consumidor de fertilizantes. Contudo, a contar pela insuficiente produção interna e pelo crescimento inferior da indústria nacional de fertilizantes em relação ao aumento da demanda, o país continuará grande importador de fertilizantes no curto e médio prazo, sofrendo o peso negativo desta dependência em sua balança comercial (SÉKULA, 2011).

Para diminuir tal dependência que pesa sobre produtores e sobre a balança comercial do país, a pesquisa agrícola nacional está desenvolvendo e incentivando o uso de fontes alternativas de nutrientes, visto que algumas destas fontes são compostas de materiais orgânicos bem conhecidos, como estercos e restos vegetais que podem desempenhar papel relevante no fornecimento de nutrientes aos cultivos. Depois de fermentadas e decompostas, tais fontes dão origem a compostos orgânicos e biofertilizantes, apresentando como vantagens a produção local descentralizada, o menor custo e a maior compatibilidade com as atuais necessidades de sustentabilidade e geração de alimentos mais saudáveis (SÉKULA, 2011).

Os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes são insumos básicos que empregados de forma correta aumentam a produção agrícola. O Ministério da Agricultura fiscaliza a produção e o comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes conforme disposto na Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, regulamentada pelo Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004.

O biofertilizante é um dos produtos resultantes da fermentação anaeróbia, é rico em nutrientes, e não tendo cheiro não atrai moscas ficando isento de agentes patogênicos causadores de doenças. Ele também aumenta a disposição de nitrogênio no solo e atende às exigências das culturas, pois são concentrados durante a fermentação (GASPAR, 2003).

Para Araujo (2007) os biofertilizantes são componentes bioativos oriundos da fermentação de compostos orgânicos que contêm células vivas ou latentes de microrganismos (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos), bem como por seus metabólitos com quelatos organominerais. Segundo Silva e colaboradores (2007) um bom biofertilizante não é aquele que leva a altos índices de colheita e produtividade, mas o que conduz a uma melhoria da fertilidade do solo por uso de compostos e resíduos de várias práticas agrícolas.

O biofertilizante tem sido utilizado por pequenos produtores em função principalmente do seu baixo custo, como também pela facilidade com que este pode ser produzido na

propriedade visando sua ação como fonte nutricional sobre o metabolismo vegetal na ciclagem de nutrientes no solo (SANTOS 2008).

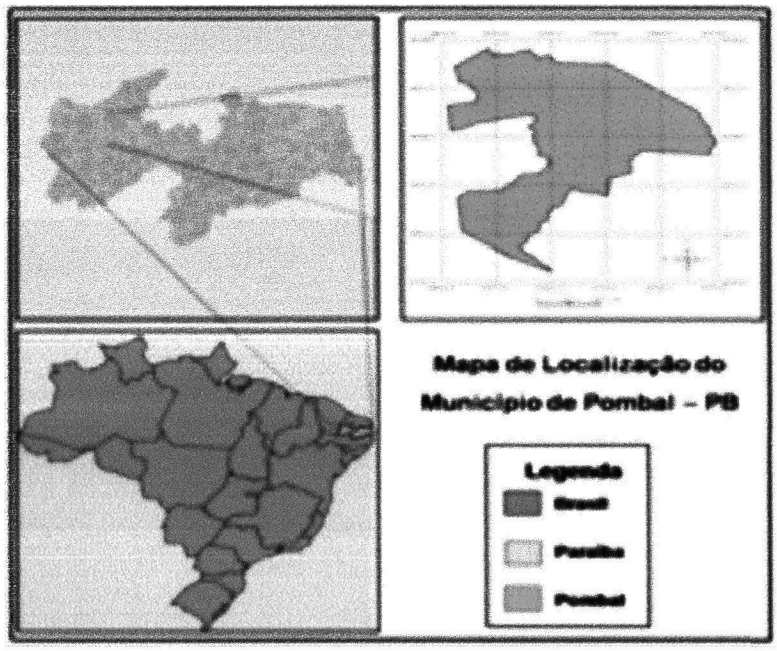
A riqueza nutricional e biológica que os compostos orgânicos conferem ao solo e às plantas auxiliam sobremaneira no cultivo de sistemas orgânicos, permitindo melhorar as qualidades químicas, físicas e biológicas do solo, promovendo um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade técnica economicamente viável (ALVES, 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na cidade de Pombal - PB, em escala de bancada e desenvolvido no Laboratório de Resíduo Sólidos do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande.

A cidade de Pombal encontra-se a aproximadamente 184 metros de altitude média do mar, com as coordenadas 06º 46' 12'' S e 37º 48' 07'' W, e está inserida na unidade geoambiental da depressão sertaneja (Figura 4.1).

Figura 4. 1 Localização geográfica do município de Pombal-PB



Fonte: (CRISPIM et al., 2014).

4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA OPERACIONAL – BIODIGESTOR

a) Material:

Os custos dos equipamentos e seus acessórios para a construção do biodigestor tipo batelada foram de aproximadamente R$ 427,00, discriminados no Quadro 4.1.

Quadro 4. 1 Discriminação dos materiais utilizados para construção do biodigestor de batelada

Material	Quantidade	Valor (R$)
Tambor (tipo PVC, com capacidade de 200 L)	02	140,00
Manômetros	02	120,00
Resina (p/fibra de vidro)	1 litro	20,00
Catalisador (p/fibra de vidro)	500 mL	4,00
Pinceis	02	6,00
Flange com anel	02	40,00
Registro de gás	02	16,00
Cola p/ cano	01	8,00
Mangueira para gás 8x4	1,5 m	10,00
Fita veda rosca	01	3,00
Espuma	4m	60,00
Total		**427,00**

b) Montagem:

Os biodigestores foram montados separadamente utilizando-se tambores com formato do tipo tubular vertical (PVC, de 54 cm de diâmetro, circunferência 134 cm e 109 cm de altura, com capacidade de 220 L). Os biodigestores continham espaço para a fermentação e gasômetro, e em cada um deles havia uma saída cuja finalidade era de ponto de coleta do efluente para descarga e análise, bem como um alimentador vertical e uma saída de gás com manômetro para coletar o biogás produzido, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4. 2 Biodigestor tipo tubular vertical (PVC)

Fonte: Arquivo pessoal, o Autor 2013.

4.2. MATÉRIA PRIMA

Para a execução do experimento foram empregados resíduos de abatedouro e excrementos bovinos (os excrementos foram coletados as 06h00min. em uma fazenda a apenas 1 km da cidade de Pombal - PB, localizada ao lado do Rio Piancó que corta o referido município, sendo o gado alimentado com conteúdo de forragem proveniente de capim elefante e farelo de milho na sua dieta) e soro de leite (proveniente das queijeiras locais). Os demais resíduos foram coletados em horário comercial.

As misturas dos resíduos e dejetos foram executadas, e estas foram inseridas nos biodigestores. As misturas de resíduos sólidos foram constituídas por: vísceras (gordura, sangue, conteúdo ruminante, entre outros) e dejetos (esterco bovino), além da incorporação do soro de leite apenas em um dos biodigestores (Biodigestor A), em que se acrescentou 5% de soro de leite em relação à biomassa total úmida, conforme Quadro 4.2 abaixo.

Quadro 4. 2 Quantidades de matéria prima (Biomassa) e água na mistura

Mistura para o Biodigestor A	**Mistura para o Biodigestor B**
80 Kg de Esterco	80 Kg de Esterco
2,2 Kg de Vísceras	2,2 Kg de Vísceras
4,11 L de Soro de Leite	----------
27 L de Água	27 L de Água

Após proceder com a mistura, realizou-se o pré-tratamento: trituração e diluição. Na trituração, buscou-se aumentar a superfície de contato das partículas da matéria prima de modo a facilitar a etapa de hidrólise microbiana, obtida na primeira etapa do processo da biodigestão anaeróbia.

4.3 ATIVAÇÃO E MONITORAMENTO NOS BIODIGESTORES

Os dois biodigestores foram ativados com proporções de diluição 1:1 (Biomassa/água), sendo diferenciado em um dos biodigestores na presença de soro de leite à mistura da biomassa, com o objetivo de acelerar no processo de decomposição anaeróbia (Figura 4.3).

Figura 4. 3 Biodigestores A e B ativados

Fonte: Arquivo pessoal, o Autor 2013.

Em seguida o processo da biodigestão anaeróbia em ambos os sistemas foram monitorados por 7, 14, 21, 28 e 35 dias de tempo de retenção hidráulica, e com temperatura variando entre 30 a 41 °C. Coletaram-se frações dos substratos (sempre às 08h00min) e as analisaram através dos parâmetros físico-químicos. Ao final do processo da biodigestão anaeróbia os efluentes (biofertilizantes) foram caracterizados.

Durante o processo os substratos dentro dos biodigestores eram agitados diariamente sempre às 08h00min e 14h00min com bastante cuidado para uma melhor homogeneização da biomassa, efetuando, portanto, rotações externas nos biodigestores sem os abrir.

Após a coleta da biomassa a mesma era encaminhada para o laboratório para análises de pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Voláteis e Fixos, sendo que uma parte do material era armazenada sob condições e temperaturas adequadas para posterior análises químicas de Nitrogênio, Fósforo e Potássio presentes nos afluentes e efluentes.

4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

As misturas orgânicas foram caracterizadas antes de sua introdução nos biodigestores (afluente), durante todo o processo de biodigestão e também ao final do processo (efluente).

Adotaram-se as seguintes técnicas descritas no Quadro 4.3.

Quadro 4. 3 Técnicas de caracterização adotadas para analises nos afluentes e efluentes dos biodigestores

Parâmetros Físico Químicos	**Material**		**Método/Equipamentos**
	Afluente	**Efluente**	
pH	X	X	Potenciométrico (**)
Temperatura	X	X	Potenciométrico (**)
Umidade	X	-	Gravimétrico (*)
Condutividade Elétrica	X	X	Eletrodo de platina $\mu S.cm^{-1}$ a 25°C (**)
Sólidos Totais, Voláteis e Fixos	X	X	Gravimétrico (*)
Nitrogênio	-	X	Método Kjedahl (***)
Fósforo	-	X	Colorimetria(***)
Potássio			Fotômetro de Chama (***)

(*) Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).
(**) Parâmetros mensurados em equipamentos de bancada e/ou medição direta.
(***) Nitrogênio, Potássio e Fósforo foram seguidas as técnicas de Tedesco (1995).

Todas as medidas foram realizadas em triplicatas e os resultados foram expressos pelas médias dessas repetições.

A produção do biogás foi realizada rotineiramente efetivando-se a sua quantificação e medida através de um fluxometro de gás mediante resposta dos biodigestores.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O referido capítulo apresenta e discute sobre os dados experimentais relativos ao desempenho de dois biodigestores anaeróbios (tipo batelada), alimentados por resíduos e dejetos da agroindústria (resíduos dos abatedouros e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite). A organização deste procedimento configura-se por: caracterização da mistura da biomassa (afluente), monitoramento dos substratos durante todo processo ocorrido no reator e os efluentes (biofertilizantes) ao final da biodigestão anaeróbica. E por último, relatará sobre os resultados obtidos quanto à produção do biogás.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA DA BIOMASSA (AFLUENTE)

As misturas das matérias primas (biomassa) foram efetuadas conforme as proporções já relatadas no Quadro 4.2 do capítulo anterior, e logo após, caracterizadas fisico-quimicamente. Estas análises foram necessárias para obter melhor conhecimento dos perfis dos afluentes antes do início do processo devido à composição da mistura influenciar nas etapas metabólicas de biodegradação, em especifico no processo de geração de biogás.

Os perfis físico-químicos das misturas de biomassa seguem apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5. 1 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes às Misturas de Biomassa, antes do Processo da Biodigestão Anaeróbia. Médias em Triplicatas.

Parâmetros Físico Químicos	Mistura da Biomassa com Soro de Leite – Reator A	Mistura da Biomassa sem Soro de Leite – Reator B
pH	6,04	6,62
Condutividade Elétrica (mS/cm)	10,23	9,93
ST (g/kg)	169,42	174,42
STF (g/kg)	79,35	82,95
STV (g/kg)	90,07	91,47
Nitrogênio (g/kg)	15,28	17,03
Fósforo (g/kg)	15,47	14,71
Potássio (mg/kg)	1,31	33,63

ST: Sólidos Totais; STF: Sólidos Totais Fixos; STV: Sólidos Totais Voláteis.

De acordo com os resultados expostos (Tabela 5.1), pode ser verificada distinção nos parâmetros em questão. A mistura de biomassa com soro de leite revelou ser mais ácida em relação à mistura de biomassa sem o soro, e também por possui maior condutividade elétrica, caracterizando presença de sais adsorvidos em maior quantidade na mistura. Acredita-se que esta diferença encontrada em ambas as misturas seja explicada pela adição de soro de leite em uma delas, visto que, o soro de leite se caracterizava por ser ácido (pH de 3,9) e condutividade de 7,4 mS/cm. Apesar da acidez da mistura (afluente) não se fez necessário a suplementação com soluções alcalinas, tal como: bicarbonato de sódio, hidróxido de sódio entre outras para elevar o pH, buscando-se assim, conhecer todo o processo da biodigestão sem estas interferências.

Em termos de sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF), observa-se que a mistura com soro de leite adquiriu menores valores em relação à mistura sem soro de leite. Sabe-se que o grau de diluição pode ser determinado pela observação do teor de sólidos totais (ST), também chamado de matéria seca, presentes na amostra (La FERGE, 1995). Os sólidos totais voláteis (STV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas e responsáveis diretos pela produção de biogás, representam neste estudo 90,07 e 91,47 g/kg, respectivamente para a mistura de biomassa com e sem soro de leite.

As análises das quantidades de macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) presentes nas misturas indicaram maiores índices para o afluente que não possui a presença do soro de leite.

5.2 MONITORAMENTOS DOS PROCESSOS DE BIODIGESTÃO

5.2.1 Caracterização dos Substratos (Afluentes)

Os biodigestores após serem ativados, foram acompanhados semanalmente durante um período de 35 dias. Todas as coletas foram efetuadas sempre no mesmo horário (08h00min), e no instante em que procedia as coletas registravam-se no local a temperatura, pH e condutividade dos substratos, enquanto que os demais parâmetros foram trabalhados em laboratório (lembrando que todas as análises foram realizadas em triplicadas).

Para tanto, as Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os resultados durante os 35 dias de acompanhamento dos substratos durante o processo da biodigestão. Os dados experimentais ocorridos no Biodigestor "A" (Tabela 5.2), evidenciaram variações nos índices de pH,

iniciando o processo com 6.04 (meio ácido) e finalizando a 7.35 (meio básico). A condutividade elétrica nos apontou decréscimos quanto à presença de sais adsorvidos nos subtratos ao longo de 35 dias, o que corrobora com o comportamento dos sólidos totais (ST), vistos que, os valores também foram decrescentes, fazendo entender que ocorreram remoção (liberação) de matéria orgânica. Os resultados dos sólidos totais fixos (STF) compreendidos variaram entre 79,35 g/kg (T_0) a 82,58 g/kg (T_{35}), caracterizando aumento de retenção da matéria inorgânica, enquanto que os nos sólidos voláteis (SV) a liberação de matéria biodegradável.

Tais resultados nos fazem inferir ainda que, durante o período de monitoramento o biodigestor A obteve uma liberação de materiais voláteis em torno de aproximadamente 60 % em relação à porcentagem de sólidos totais (ST), no T_0 (Tempo Zero).

Segundo Vedrenne et al. (2008) as variações para os potenciais dos sólidos voláteis (SV) ocorre devido às diferenças nas composições dos dejetos, nas frações de SV, proteínas, lipídios, carboidratos e lignina, com cada fração apresentando um determinado potencial para a produção de biogás. E em seu estudo inferiu que para 90 dias de tempo de retenção hidráulica (TRH), seria necessário 90% dos verdadeiros potenciais de SV, isto para um biodigestor contínuo.

Tabela 5. 2 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes aos Substratos do Biodigestor "A" Monitorados por 35 dias

Parâmetros (Biodigestor A)	**T_0 (dia)**	**T_7 (dias)**	**T_{14} (dias)**	**T_{21} (dias)**	**T_{28} (dias)**	**T_{35} (dias)**
Temperatura (°C)	31	30	35	41	37	41
pH	6,04	6,00	5,97	5,98	7,31	7,35
Condutividade (mS/cm)	10,23	8,84	12,22	13,15	9,65	9,39
ST (g/kg)	169,42	168,09	163,31	156,17	155,05	151,45
STF (g/kg)	79,35	79,16	78,98	76,61	82,14	82,58
STV (g/kg)	90,07	88,93	84,33	79,56	72,91	68,87

ST: Sólidos Totais; STF: Sólidos Totais Fixos; STV: Sólidos Totais Voláteis.

No que concernem os resultados obtidos no acompanhamento do biodigestor B, em que a mistura é constituída sem adição de soro de leite (Tabela 5.3), percebe-se variações significativas em alguns parâmetros ao comparar com o biodigestor A. Analisando o

comportamento do processo da biodegradação anaeróbia sem o soro de leite ao longo de 35 dias, verifica-se aumento na temperatura, enquanto que o pH indicou um comportamento variável, aumentando até o 14° dia, seguido de uma diminuição até o 28° dia, caracterizado como meio ácido. Posteriormente, no 35° dia o pH encontrava-se alcalino.

A condutividade elétrica apontou valores de sais dissolvidos entre 9,93 e 6,73 mS/cm, e os sólidos totais e voláteis apresentaram redução nos seus valores iniciais de matéria orgânica. Os sólidos voláteis apresentaram redução em torno de 70 % (SV em 28 dias), enquanto que os sólidos fixos tiveram um aumento de material inorgânico.

Tabela 5. 3 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos referentes aos Substratos do Biodigestor "B" Monitorados por 35 dias

Parâmetros (Biodigestor B)	**T_0 (dia)**	**T_7 (dias)**	**T_{14} (dias)**	**T_{21} (dias)**	**T_{28} (dias)**	**T_{35} (dias)**
Temperatura (°C)	30	30	35	38	36	40
pH	6,62	6,83	6,37	6,35	6,30	7,96
Condutividade (mS/cm)	9,93	6,85	6,91	6,73	7,44	8,14
ST (g/kg)	174,42	174,64	171,23	166,59	162,74	158,34
STF (g/kg)	82,95	84,35	84,26	85,15	87,00	85,67
STV (g/kg)	91,47	90,29	86,97	81,44	75,74	72,67

Comparando os resultados obtidos entre os biodigestores A e B, podem ser evidenciadas variações nas temperaturas dos substratos, podendo ser explicadas pela ocorrência das reações químicas proporcionadas pelos microrganismos nas diferentes etapas da biodigestão. Assim sendo, o biodigestor B apontou teores mais elevados de pH, sólidos totais, voláteis e fixos.

De acordo Magalhães (1986) as bactérias metanogênicas responsáveis pela conversão dos ácidos orgânicos em metano são sensíveis a valores de pH abaixo de 6,5, bem como a variações de pH. Para o bom desempenho dos reatores o ideal é que o pH permaneça entre 6,5 a 7,2. Para outros autores o intervalo de pH pode ser entre 6,0 a 8,0 para que o processo de digestão anaeróbia se desenvolva em condições favoráveis (BATISTA, 1981), ou de 6,7 a 7,4 (BRYANT, 1979).

Neste caso, tanto o biodigestor A como o B estão dentro da faixa ótima. Com relação à eficiência do processo, no período de remoção de sólidos totais e sólidos voláteis, o biodigestor constituído da mistura de matéria orgânica sem soro de leite obteve mais liberação de compostos orgânicos (biodegradáveis) em relação ao que continha o soro. Acredita-se que, o biodigestor A obteve uma produção a mais de ácidos (fase acidogênica), promovendo certa dificuldade no desenvolvimento das bactérias metanogênicas, ou seja, última etapa ou fase do processo.

5.2.2 Caracterização dos Efluentes (Biofertilizantes)

O efluente líquido do biodigestor chamado de biofertilizante, é uma rica fonte de nutrientes adquirida ao longo do processo da digestão anaeróbia, visto que ocorre liberação de componentes gasosos como metano e gás carbônico, formados por C, O e H, restando o substrato conservado com nitrogênio, fósforo, potássio entre outros (RIBEIRO, 2013).

Os valores médios referentes às análises físico-químicas das amostras dos efluentes de ambos os biodigestores seguem apresentadas na Tabela 5.4. Os resultados expressam que nos dois biodigestores os efluentes se encontravam sob meio alcalino, conforme revela os pH's. Já os teores de sólidos totais (ST), fixos (STF) e voláteis (STV), indicaram ser superiores para o biodigestor B, sem a interferência do soro de leite na mistura.

No que concerne aos teores de macronutrientes (NPK), o efluente biodegradado com soro de leite adquiriu teores menores em relação ao efluente do biodigestor B, de modo que nos leva a inferir que a fixação dos macronutrientes do processo de biodigestão anaeróbia ocorrida no biodigestor B aponta ser mais eficaz.

Tabela 5. 4 Valores Médios de Parâmetros Físicos Químicos correspondentes aos Efluentes, ao final da Biodigestão Anaeróbica

Parâmetros Físico Químicos	Efluente Biodigestor A	Efluente Biodigestor B
Temperatura (°C)	41	40
pH	7,35	7,96
Condutividade (mS/cm)	9,39	8,14
ST (g/kg)	151,45	158,34
STF (g/kg)	82,58	85,67
STV (g/kg)	68,87	72,67
Nitrogênio (g/kg)	18,55	18,84
Fósforo (g/kg)	16,23	15,32
Potássio (mg/kg)	1,67	39,06

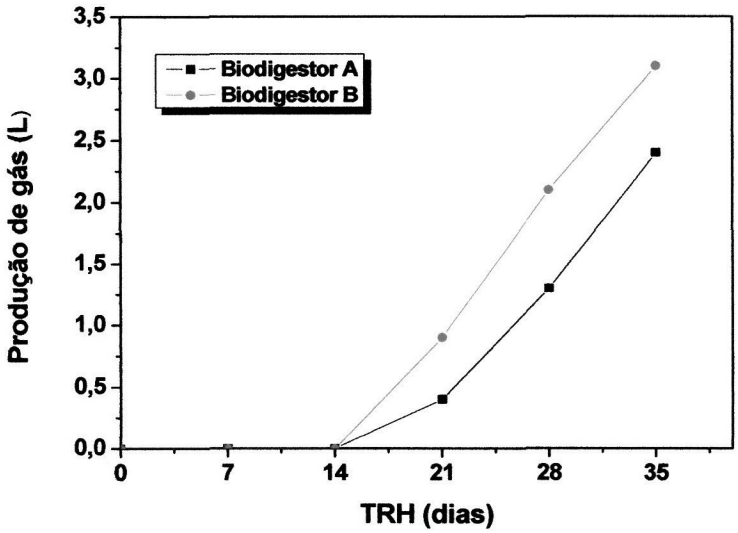
Amorim (2005) afirma em seu trabalho que o biofertilizante oriundo de processos de biodigestão anaeróbica apresenta inúmeras vantagens, tais como a melhoria na estrutura do solo por permitir uma maior penetração de ar com consequente estímulo à oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo. O conteúdo de matéria orgânica do resíduo resulta na capacidade de retenção de umidade pelo solo evitando demora no crescimento das plantas durante o tempo seco, além de introduzir um grande número de bactérias e protozoários resultando em aumento da velocidade de decomposição, o que torna os nutrientes disponíveis para as plantas, bem como promove a introdução de alguns minerais importantes para o crescimento destas.

Malavolta (2002) argumenta nos seus estudos que os macronutrientes, em específico os elementos nitrogênio, fósforo e potássio possuem funções ou atuações distintas para a constituição do biofertilizante, a saber:

a) **Nitrogênio** (N): elemento importante por constituir as proteínas onde algumas têm funções enzimáticas, sendo responsáveis pelas mais variadas funções desde a absorção dos elementos minerais pelas raízes ou pelas próprias folhas até a fotossíntese ou a respiração.

b) **Potássio** (K): essencial para a formação dos açúcares nas folhas e para seu transporte a demais partes da planta. O efeito prejudicial do excesso de N pode às vezes, ser

Figura 5. 1 Quantidade de Biogás Produzido no Período de 35 dias



De acordo os dados ilustrados na Figura 5.1, observa-se que no biodigestor B a produção de gás foi mais significativa em relação ao biodigestor A. Entre o tempo inicial (T_0) e o 14° dia não se observou nenhum desprendimento de biogás. Após o 14° dia até o 35° dia a produção de gases por semana foi ascendente, assumindo valores ao final do processo de 3,1 L e 2,4 L, respectivamente para biodigestor **B** e **A**. Isso reforça a observação de que na proporção que a taxa de produção de biogás que aumentava a cada fase operacional, houve um acréscimo nos valores de remoção de matéria orgânica (STV), conforme é apresentado na Tabela 5.2 e 5.3 anteriormente discutidas.

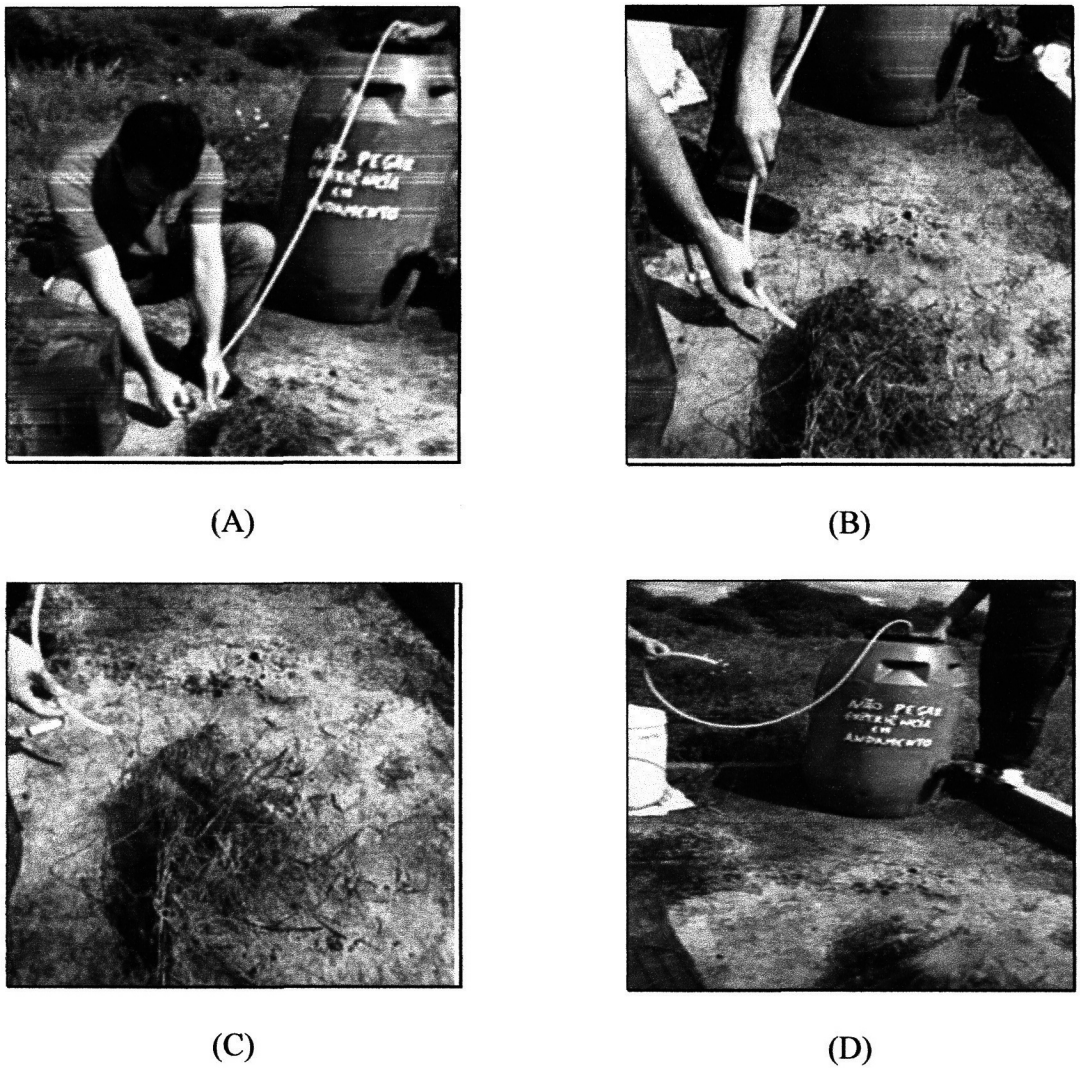
A princípio, durante o período do experimento é importante relatar que o biodigestor **A** teve perda de gases por apresentar vazamentos em alguns pontos críticos, por exemplo, nas conexões, de modo que foram concertados durante a execução do experimento, mas que acarretaram em dificuldades na quantificação das medidas do volume de gás produzido.

Segundo a literatura, a produção de gases pode ser influenciada devido a vários fatores, dentre eles a temperatura, pH e composição da biomassa (REIS, 2013; LAY et al. 1997). Assim sendo, podem-se inferir neste estudo que com o aumento da temperatura externa (variando entre 30 a 41 °C), os substratos sofreram sucessivas reações químicas recebendo esta energia que os levaram a possíveis rupturas de ligações para formações de outros compostos moleculares, acreditando-se que neste instante tenha ocorrido a liberação de

matéria orgânica para a produção de gases. Além disso, a temperatura interfere na atividade enzimática durante a biodigestão, cuja finalidade é a produção de gases, em especifico o gás obtido na fase metanogênese (CH_4).

Em ensaio conduzido por Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004) foi observado que nas estações de verão e outono, com aproximadamente 50 dias de retenção, haviam sido atingidos 90 e 60%, respectivamente, do total de biogás produzido durante todo o processo enquanto que no inverno e primavera estes valores estavam em aproximadamente 5%. Logo, esta condição pode ser atribuída ao fato das bactérias metanogênicas serem bastante sensíveis a variações de temperaturas em biodigestores modelo batelada.

Figura 5. 2 Imagens do Teste de Chama Realizada em um dos Biodigestores



(A) (B)

(C) (D)

A) Inicio do teste – Ativação da chama; B e C) Desenvolvimento do processo da queima; D) Fim do teste – Término da queima.
Fonte: arquivo pessoal do Autor, 2014.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados abordados durante o desenvolvimento desta pesquisa, pode ser concluído em consoante com os objetivos propostos, que:

1. Os biodigestores foram construídos em sistema de batelada e ativados distintamente por misturas de resíduos e dejetos da agroindústria (resíduos dos abatedouros e excremento bovino, com e sem adição de soro de leite), provenientes da cidade de Pombal - PB. Os mesmos desempenharam comportamentos diferenciados durante o processo da biodigestão anaeróbica, visto que, pode ser confirmado nas análises físico-químicas e na produção do biogás, ressaltando que embora tenha havido pontos de vazamento no biodigestor A, acredita-se que este não tenha sido tão significativo, pois se buscou resolver de imediato.

2. O biodigestor **B** revelou ter um melhor desempenho em relação ao biodigestor A, devido a inúmeros fatores, entre eles a composição dos substratos, pois os resultados apresentaram ao longo dos intervalos de T_0 a T_{35} (tempos de retenção hidráulica), pH's alcalinos, levando a uma facilidade de desenvolvimento das bactérias metanogênicas durante a biodigestão, bem como outros aspectos: redução de sólidos totais, sólidos totais voláteis, aumento de sólidos totais fixos e produção de biogás, enquanto que o biodigestor A (com adição de soro de leite) apresentou lentidão durante a decomposição por ter ocorrido maior liberação de ácidos, no entanto, não foi necessário suplementação durante o desenvolvimento deste sistema.

3. Os biodigestores A e B tiveram uma produção de biogás a partir do 14° dia, sendo que as maiores obtenções foram atingidas no 35° dia do monitoramento do experimento, cujos valores foram de 2,4 L e 3,1 L, respectivamente biodigestor A e B. Esses resultados são considerados satisfatórios em virtude de termos utilizado sistema do tipo batelada (descontínuo), e o tempo de monitoramento ter sido apenas de 35 dias.

4. Ambos os efluentes são considerados em comparação com dados da literatura satisfatórios quanto à qualidade de macronutrientes (NPK) fixados durante do processo da biodigestão anaeróbica, em específico para o efluente do biodigestor B.

Em síntese, este trabalho nos propôs resultados bastante interessantes em virtude de termos utilizados em biodigestores descontínuos, rejeitos típicos da agroindústria, tal como, por exemplo: as vísceras e o soro de leite, e os incorporando a mistura de excrementos bovinos e água. Por sua vez, esta proposta pode ser utilizada no futuro, e então, servir como ferramenta para o aprimoramento do método com os referidos resíduos gerados pelas agroindústrias da região de Pombal - PB, tendo em vista que, a biodigestão produz dois

excelentes subprodutos, o biogás e o biofertilizante, que contribuirão não somente como propostas de modelos sustentáveis, mas também como forma de incrementar o lucro gerado por estas atividades.

REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10.004:2004 Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, E. P.; Diagnóstico das Queijeiras em Pombal e Região. **SEBRAE/PB**; p.02-08, 2010.

ALVES, G. da S. **Nutrição mineral e produtividade de pimentão (*Capsicum annuum L.*) em resposta a diferentes biofertilizantes líquidos no solo**. 2006. 83p. Dissertação. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas. UFPB, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Areia-PB, 2006.

AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão Anaeróbia na produção de caprinos**. Tese (Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2005.

AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T.. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard Methods for the Examinations for Water and Wastewater (APHA)**. Washington, D.C: 21th Edition, 2005.

ARAUJO, J. F. **Adubação Organomineral e Biofertilização Líquida na Produção de Frutos de Pinha (Annona Squamosa L.) no Submédio São Francisco.** 2007. 115p. Tese. Área de Concentração: Horticultura. Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu – SP, 2007.

ARAÚJO, M. de S. **Produção de etanol neutro a partir do soro de queijo coalho por destilação convencional.** 2013. 66p. Dissertação (Sistema Agroindustrial). Programa de Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande/Campus Pombal, Pombal, PB. 2013.

AUGUSTO, K. V. Z. **Tratamento e reuso do efluente de biodigestores no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango**. 2011. 72p. Tese. Área de Concentração: Água e Solo. - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 2011.

BALMANT; W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica.** 2009. 10p. Dissertação Área de Concentração: Processos Térmicos e Químicos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 3. ed. São Paulo: Íncone, 2011. 106 p.

BATISTA, L. F. **Construção e operação de biodigestores**. Brasília, DF: EMATER, 1981.

BEZERRA, I. L. S.; REVORÊDO, R. A.; VEZZERIL, R. T.; FILHO, P. C. S. Produção de gás combustível: construção de um biodigestor caseiro. **In: IX. Congresso de iniciação científica UFRN: Tecnologia, e Inovação para o Semiárido.** 2013. Disponível em: http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1289/285. Acessado em: 21/06/2014.

BERNI, J. V. **Fermentação Anaeróbica de Dejetos Bovinos em Biodigestor Canadense: Análise de Macro e Micronutrientes de Biofertilizante.** 2011. 58p. Monografia (Tecnologia de biocombustíveis) Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Araçatuba - SP, 2011.

BNDES e CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável. Organização BNDES e CGEE.** Rio de Janeiro: BNDES, 2008. Disponível em: http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf .Acessado em: 13/07/2013.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política nacional de resíduos sólidos. 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados.

BRAZ, M. S. A. Os mecanismos de cooperação internacional para redução de emissões sob o Protocolo de Quioto. **Boletim Científico Escola Superior do Ministério Público da União**, Brasília, n. 9, out./dez, p. 139-159, 2003.

BRYANT, M. P. Microbial methane production- theoretical aspects. **Journal of Animal Science,** Champaing, v. 48, n. 1, p. 193-201, Jan. 1979.

CANTRELL, K. B.; DUCEY, T.; RO, K. S.; HUNT, P. G. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. **Bioresource Technology**, Essex, v.99, n.17, p. 7941-7953, 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental & SMA-SP – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Relatório técnico n. 2 do convênio SMA/MCT n. 01.0053.00/2001 – Efluentes**. Disponível em: www.mct.gov.br/CLIMA/brasil/pdf/Efluente_preliminar.pdf. Acessado em: 12/09/2013.

CHERNICARO, C. A. de L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Departamento de engenharia sanitária e ambiental, UFMG, Editora: CEGRAC. Belo Horizonte, 1997.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** 2006. 73p. Dissertação. Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agroindustriais. UNIOESTE, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Cascavel-PR, 2006.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, **Resolução n° 430 de 2011.**

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L A. M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SESTAK, D.; KAUFMANN, A. V.; ROTTA, S. R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Engenharia Agrícola., Jaboticabal**, v.25, n.2, p.540-548, 2005.

CRISPIM, D. L; SILVA, M. A. da; CHAVES, A. D. C. G.; ALMEIDA, R. R. P. de; FREITAS, A. J. F. de. Diagnóstico da arborização urbana do centro da cidade de Pombal-PB, 2014, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.1, p.191-196, jan-mar, 2014. Disponível em: http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/2707/pdf_913 Acesso em: 04/02/2014

DANTAS, T. A. G.; CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, G. P.; NASCIMENTO, J. A. M.; RODOLFO JR., F.; MACEDO, J. P. S. Crescimento e produção do maracujazeiro-amarelo em solo tratado com biofertilizantes, NPK e calcário. **In**: **Congresso Brasileiro de Fruticultura,** 19, 2006, Cabo Frio. Anais... Cabo Frio: SBF/UENF/UFRRJ, 2006. p. 547.

DEGANUTTI; R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI; M.; TAVARES; B. R.; SANTOS, B. C. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. 2002. UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, SP. Disponível em: http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0004.pdf. Acessado em: 10/05/2014.

DORS; G. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos avícolas**. 2006. 87p. Dissertação, Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2006.

DOTTO; R. B.; WOLFF; D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia.** Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria - PR, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

FEISTEL, J. C. **Tratamento e destinação de resíduos e efluentes de matadouros e abatedouros**. 2011. 37p. Seminário Aplicado sobre a Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Goiânia – GO, 2011. Disponível em: http://portais.ufg.br/uploads/67/original_semi2011_Janaina_Costa_2c.pdf. Acessado em: 15/06/2014.

FERRAREZ, A. H.; FILHO, D. O.; FILHO, A. F. de L.; COSTA, J. M.; APARISI, F. R. S. Potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa e enquadramento em Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de empreendimento de uso do biogás como fonte energética em cadeia produtiva de frango de corte. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 3, set./dez, p. 41-57, 2010.

GALLETTI, J. P.; FLORESTA, A. C. F.; SANTOS, H. D.; MINHARRO, S. Qualidade de água de abastecimento na indústria de produtos de origem animal: Revisão bibliográfica. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 6, n. 10, p.1-10, 2010.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR**. 2003. 106 f. Dissertação, Área de Concentração: Planejamento e Estratégia Organizacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONDIM, S. C. **Insumos orgânicos e qualidade da água no maracujazeiro amarelo e na fauna edáfica**. 2010. 178p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2010.

GUERRA, J. B. S. A.; YOUSSEF, A. Y. **As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade.** Palhoça: Ed. Unisul, 2011.

JARDINE, J. G.; DISPATO, I; PERES, M. R.. Considerações sobre o bioetanol lignocelulósico para subsidiar a elaboração de conteúdo da Árvore de Conhecimento. **Agroenergia.** Campinas, São Paulo: Embrapa Informática Agropecuária, 2009.

JUNIOR, A. B. C. **Simulação do comportamento de um resíduo modelo em aterro sanitário e estudo da evolução bio-físico-química/** INSA de Lyon- France, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária**. Março de 2014. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201304_publ_completa.pdf >. Acessado em: 21/06/2014.

KAVACIK, B; TOPALOGLU, B. Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. **Biomass and bioenergy**, v.34, p. 1321-1329, 2010.

KELLEHER, B P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

La FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 237p.

LACERDA, T. H. M.; OLIVEIRA, A. J.; CARUSO, J. G. B. Viabilidade do Tratamento do Soro de Queijo com Digestão Anaeróbia. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz**: Piracicaba v. 47, n. 2, p. 573-577, 1990.

LAY, J. J.; LI, Y.Y; NOIKE, T.; ENDO, J.; ISHIMOTO, S. Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. **Japan Elsevier Science.** v. 36, n. 6 – 7, p. 493 – 500. 1997.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.;ALCARDE,J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute**, Boletim, n.121. p.10, março, 2008. .

MARCOS, A; AL-KASSIR, A; LÓPEZ, F; CUADROS, F; BRITO, P. Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production. **Fuel Processing Technology** v. 103, p. 178–182, 2012.

MARTINHO; F. H. C. Codigestão anaeróbia de resíduos de abatedouro de bovinos. **Aquidauana**, MS: UEMS, 2013.

MORAES, L. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de dejetos oriundos de atividades zootécnicas**. 2000. 112 p. Dissertação. Área de Concentração: Água e Solos. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2000.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. dos R. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. **CONTEXTO INTERNACIONAL**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, janeiro/abril, p. 9-47, 2008.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p.1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, L. de S. **Regras e boas práticas para instalação de torres anemométricas voltadas para estudo de potencial eólico**. 2011. 101p. Dissertação. Área de concentração: Planejamento energético. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2011.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína).** São Paulo: CETESB (Série P + L), 2008.

PARZIANELLO, J. E. **Avaliação da Biodigestão Anaeróbia a partir da Mistura de Resíduos Avícolas e Lácteos.** 2011. 20p. Monografia, Curso: Bacharelado e Licenciatura em Química. UTFPR – Campus Pato Branco, Pato Branco, 2011. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/437/1/PB_COQUI_2011_2_10.pdf.Acessado. Acessado: 20 de maio de 2013.

PEREIRA, E. B. **Tratamento enzimático para remoção de gorduras dos resíduos gerados por indústrias de produtos avícolas**. 2004. 154p. Tese. (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil. 2004.

PINTO; R. de O. **Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado**. 2006. 173p. Tese (Engenharia Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006-2011 / **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia.** 2ª ed. rev. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

QUADROS, D. G. de; VALLADARES, R.; REGIS, U. **Aproveitamento dos dejetos de caprinos e ovinos na geração de energia renovável e preservação do meio ambiente.** - Projeto inovador gera biogás, biofertilizante, créditos de carbono e conservação da biodiversidade na agricultura familiar do semi-árido - Universidade do Estado da Bahia - Núcleo de Estudos e Pesquisas em Produção Animal – campus IX. 2007. Disponível em: http://www.capritec.com.br/pdf/dejetosdecaprinos.pdf. Acessado em: 15/06/2014.

REIS, A dos S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio.** 2012. 63p. Dissertação (Tecnologia Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2012.

RIBEIRO, C. P. **Análise energética, econômica e ambiental da Biodigestão de resíduos agropecuários gerados por pequenos e médios produtores rurais da região sul do Espírito Santo.** 2013. 207p. Tese (Em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Energia e Ambiente / Instituto de Física), São Paulo-SP, 2013.

SANTOS, J. F. dos. **Fertilização orgânica de batata-doce com esterco bovino e biofertilizante**. 2008. 110p. Tese. Área de Concentração: Agricultura Tropical. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia. 2008.

SARAVANAN, V.; SREEKRISHNAN, T. R. Modelling anaerobic biofilm reactors-A review. **Journal of Environmental Management**, v. 81, p. 1-18, 2006.

SÉKULA, C. R. Características químicas do solo e produção de grandes culturas com rochagem e biofertilizantes. Dissertação (Produção Vegetal). Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava-PR, 2011.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R. F. de; DELGADO, V. de L.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N. de; TONSO, S.; SOBRINHO, G. D.; PELEGRINI, R. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. **III Fórum de Estudos Contábeis 2003**. Unicamp, Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP – Brasil, 2003. Disponível em: http://www.universoambiental.com.br/Arquivos/Agua/abatedouro.pdf. Acessado em: 15/06/2014.

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

SILVA, L. F da; MACEDO, A. H de. Um estudo exploratório sobre o crédito de carbono como forma de investimento. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** v.8, n. 8, Set-Dez, p. 1651-1669, 2012.

SILVA, A. F.; PINTO, J. M.; FRANÇA, C. R. R. S.; FERNANDES, S. C.; GOMES, T. C. de A.; SILVA, M. S. L. da ; MATOS, A. N. B. M. Preparo e Uso de Biofertilizantes Líquidos. **Comunicado Técnico da Embrapa Semi-Árido**, PETROLINA: EMBRAPA SEMIÁRIDO. n.130, maio, 2007. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339493. Acessado em: 05/08/2014.

SOARES, H. M.; HIRATA, Y. S. Práticas de laboratório. **In: IV Curso de Tratamento Biológico de Resíduos.** Florianópolis/SC. CBAB, MCT/ CNPq, CPGENQ/UFSC, CDB, 1999. 23p.

SOUZA, A. L.; ANDRADE, J. C. Análise do mercado de carbono voluntário no Brasil: um estudo sobre o perfil dos projetos de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 52-75, jan./abr. 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

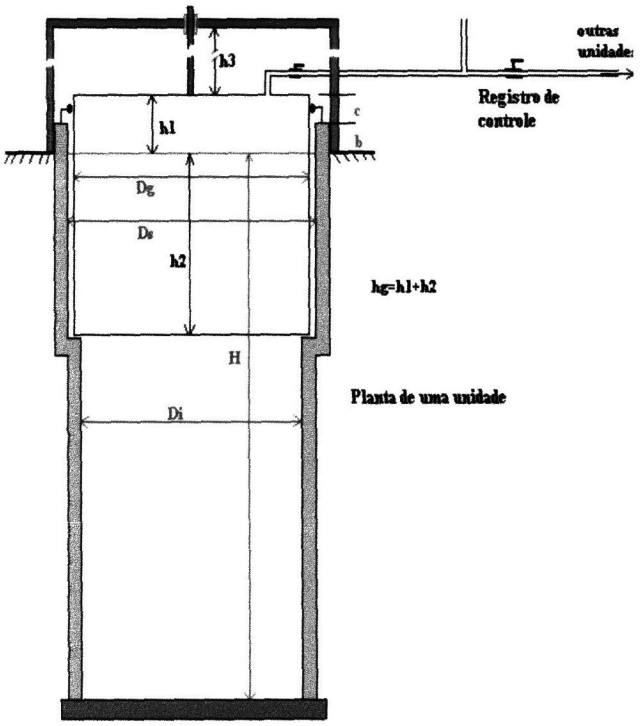
VAZOLLER, R.F. **Diversidade microbiana e desenvolvimento sustentável**. Microbiologia e Saneamento ambiental. In: Biodiversidade: perceptivas e oportunidades tecnológicas. 1996. Disponível em: http://www.bdt.fat.org.br/publicacoes/padct/bio/cap9/3. Acessado em: 26/09/2013.

VEDRENNE, F.; BELINE, F.; DABERT, P.; BERNET, N. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n.1, p. 146-155, jan. 2008.

ANEXOS

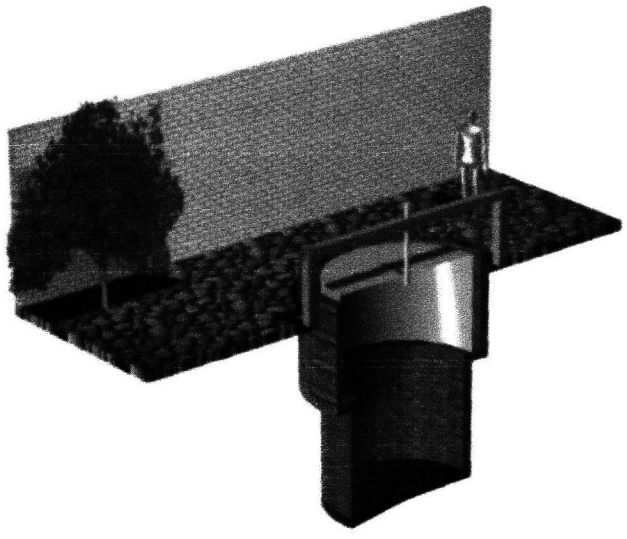
Figura 3. 2 a) Vista frontal em corte do biodigestor em batelada, realçando os elementos fundamentais para sua construção. (b) Representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor.

(A)



Em que:
Di é o diâmetro interno do biodigestor;
Ds é o diâmetro interno da parede superior;
Dg é o diâmetro do gasômetro;
H é a altura do nível do substrato;
h1 é a altura ociosa do gasômetro;
h2 é a altura útil do gasômetro;
h3 é a altura útil para deslocamento do gasômetro;
b é a altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;
c é a altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

(B)



Fonte: DEGANUTTI et al., 2002.