

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARIA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA (MODALIDADE: INTEGRADO)

Jean Carlos Bassani

Karol Sevegnani

Thiago da Silva

Thiago Schuler

Willian Roberto de Almeida

A DECOMPOSIÇÃO DE CASCAS DE FRUTAS
PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Jaraguá do Sul (SC), Novembro de 2014

Jean Carlos Bassani
Karol Sevegnani
Thiago da Silva
Thiago Schuler
Willian Roberto de Almeida

A DECOMPOSIÇÃO DE CASCAS DE FRUTAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Projeto de pesquisa desenvolvido no eixo
formativo diversificado “Conectando
Saberes” do Curso Técnico em Química
(Modalidade: Integrado) do Instituto Federal
de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul.
Orientador: Clodoaldo Machado

Jaraguá do Sul (SC), Novembro de 2014

Sumário

1. Tema	4
2. Delimitação do tema.....	4
3. Problema.....	4
4. Hipóteses	4
5. Objetivos.....	4
5.1. Objetivo Geral:	4
5.2. Objetivos Específicos	4
6. Justificativa.....	5
7. Fundamentação Teórica.....	5
7.1. Biomassa e Biogás	6
7.2. Biodigestores	8
7.3. Matéria Prima	11
7.4. Formação do Biogás	12
7.4.1 Processo anaeróbio.....	13
7.4.2 Processo aeróbio	15
7.5. Cinética Química da Reação.....	16
7.5.1 Velocidade de reação e mecanismos.....	17
8. Metodologia.....	18
1ª etapa.....	18
2ª etapa.....	18
Tratamento dos rejeitos.....	19
9. Cronograma	19

1. Tema

A decomposição de cascas de frutas para a produção de biogás.

2. Delimitação do tema

Investigação da influência da temperatura e da concentração de agente ativante na decomposição de cascas de frutas para a produção de biogás.

3. Problema

Qual casca de fruta irá gerar uma maior quantidade de biogás durante sua decomposição em um biodigestor e quais as condições do processo de biodigestão de cascas de frutas resultará no maior rendimento de biogás?

4. Hipóteses

- A produção de biogás será tanto maior quanto maior for o teor de sacarose das cascas;
- O maior rendimento da casca que produz biogás em maior quantidade acontecerá nas temperaturas próximas a 37 °C;
- A casca de fruta selecionada irá produzir menos biogás em meio mais ácido;
- Os maiores rendimentos de biogás serão obtidos com concentrações mais elevadas do agente ativante.

5. Objetivos

5.1. *Objetivo Geral:*

Quantificar a produção de biogás durante a decomposição de diferentes cascas de frutas em meio anaeróbico, determinando a influência da temperatura e do agente ativante sobre a quantidade de biogás produzido da casca que mais produzir biogás, como também determinar a sua cinética reacional.

5.2. *Objetivos Específicos:*

- Selecionar quais cascas de frutas que serão empregadas nos experimentos;
- Montar os sistemas de biodigestão, os biodigestores, e preparar a solução de agente ativante;

- Realizar experimentos de decomposição da matéria orgânica com diferentes cascas de frutas, na ausência de oxigênio, determinando a quantidade de biogás produzido ao longo do tempo, com e sem agente ativante;
- Selecionar a casca de fruta que mais produzir biogás e experimentá-la em diferentes temperaturas e concentrações de agente ativante;
- Determinar a cinética dos processos de biocatálise;
- Comparar os resultados frente às diferentes condições empregadas e aos dados disponíveis na literatura.

6. Justificativa

Com o avanço da urbanização há também um crescimento dos problemas ambientais, entre eles o aumento da geração de resíduos e dos gastos energéticos diários. Diante desses problemas, foi proposto um método que concilia as duas questões postas, qual seja, a produção de biogás a partir de resíduos. A ideia de utilização do biogás é degradar o lixo orgânico e assim liberar o gás, sendo este armazenado e utilizado para a geração de energia. Segundo Seixas *et al.* (1981), como benefício para o país, não é preciso abater tantas árvores para queimar. Esta medida melhora a retenção de água, diminui a erosão e faz menos severas as épocas de seca. Os benefícios reais para o país só se tornarão visíveis com um elevado número de biodigestores em atividade. A produção de biogás é um meio para amenizar a poluição em vários campos de produção, pois assim pode-se dar outro fim, sem ser em lixões ou até mesmo nas ruas, para os resíduos orgânicos. Desde um possível meio de combustível para automóveis até da provável fonte de energia elétrica para empresas que tem a possibilidade de produzir ou comprar biogás.

A falta de tratamento de dejetos resultantes da criação de suínos, em escala industrial, está se transformando na maior fonte poluidora de mananciais de água no Brasil, onde rios e lagos contaminados podem provocar inúmeras doenças, tais como: verminoses, alergias, hepatites, hipertensão, câncer de estômago e esôfago, além de trazer desconforto à população com a proliferação de moscas, borrachudos, mosquitos, erosão do solo e mau cheiro (PEREIRA *et al.*, 2010 *apud* ROCHA *et al.*, 2006).

O efeito estufa, um fenômeno natural de aquecimento térmico da Terra, é agravado quando a concentração natural de gases isolantes aumenta demasiadamente pela ação do homem. Os principais gases que causam o efeito estufa são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e clorofluorcarbonos (CFCs) (VIEIRA *et.al*, 2010). Segundo Costa (2006), o gás metano produzido (CH₄), quando liberado diretamente na atmosfera, causa significativo impacto ambiental, em parte agravando o efeito estufa, já que é 21 vezes mais impactante do que o dióxido de carbono (CO₂). Sendo assim, outra vez a utilização do biogás se torna interessante.

Aproximadamente 50.000 toneladas/dia de matéria orgânica são dispostas irregularmente, com isso visa-se o desenvolvimento de alternativas tecnológicas que objetivem o aproveitamento racional da matéria orgânica, propiciando a redução dos impactos ambientais (REIS 2012, *apud* BARCELOS, 2009). Segundo Costa (2006), o biogás tem sido cada vez mais pesquisado no Brasil e no exterior em consequência da crescente conscientização da sociedade quanto aos seus aspectos positivos (ambientais, econômicos e sociais). A utilização do biogás poderá resultar, no futuro, em uma diminuição da dependência de matrizes energéticas, principalmente a dependência hidroelétrica no caso brasileiro (BRONZATTI *et al.*, 2008). Sabendo que 1,0 m³ de esterco produz em torno de 0,5 m³ de biogás, pode-se estimar o poder energético através da conversão de biogás em kWh, já que 1,0 m³ de biogás equivale a 6,5 kWh e considerando o valor pago por kWh de R\$ 0,2744 (CATAPAN, 2011 *apud* OLIVEIRA, 1993). Autores relatam que o custo está relacionado ao capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor-gerador e a implantação do biodigestor equivale a aproximadamente R\$ 200,00/suíno e do conjunto motor-gerador cerca de R\$ 440,00/kW (COLDEBELLA, 2008). Segundo a Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina - FIESC (2012), o consumo energético das classes rurais em 2011 foi de 1.113.251 MWh, sendo assim pode-se visualizar a quantidade de biogás que seria necessário para que os agricultores possam ter um benefício financeiro ao usar o biogás como fonte de energia.

7. Fundamentação Teórica

7.1. Biomassa e Biogás

Atualmente vivemos em uma sociedade dependente do petróleo, uma fonte não renovável de energia. Assim, é fundamental a investigação dos aspectos

relacionados às novas fontes de energia, como por exemplo, o biogás. O biogás apresenta-se como uma boa alternativa energética, pois ao contrário dos combustíveis fósseis a biomassa é um combustível renovável. O biogás é gerado por biomassa, que consiste em toda matéria orgânica, assim sendo mais fácil o processo de renovação da energia na natureza, pois o dióxido de carbono liberado pelo combustível, após sua combustão no motor, é utilizado pelas plantas para a realização da fotossíntese.

A biomassa é definida como toda matéria orgânica de origem animal e vegetal, formada pelo processo de fotossíntese, o qual ocorre na presença da luz solar. Pode-se dizer que a biomassa é uma forma de armazenamento de uma pequena fração da energia solar, que incide na superfície da terra, na forma de ligações moleculares orgânicas (PEREIRA; PAVAN, 2004).

A biomassa está se tornando uma fonte de energia cada vez mais utilizada. A biomassa em forma de álcool se encontra em um estágio avançado de desenvolvimento tecnológico. Existem também outras formas de aproveitar a biomassa, dentre elas a formação do gás metano, obtendo-se paralelamente com a reação de formação de biogás o fertilizante orgânico enriquecido, o biofertilizante. Esta possibilidade de transformação da biomassa em biogás se dá muito promissora nas áreas rurais, onde há necessidade de alternativas energéticas, além de possibilitar a substituição de fertilizantes químicos, geralmente importados, por biofertilizantes. Segundo Santos (1995), o biofertilizante é um fertilizante natural, rico em nitrogênio e escasso em carbono, ele também tem concentração maior de nutrientes e apresenta várias vantagens no uso em cultivos agrícolas.

Para a agricultura, a produção do gás nos oferece como "subproduto", o biofertilizante, rico em nitrogênio e extremamente pobre em carbono, sendo esta a configuração ideal de um fertilizante de excelente qualidade, ainda ele pode ser utilizado como um corretivo de acidez, da vida bacteriana e de textura, bem como aquecimento e a geração de eletricidade (JORDAN, 2003).

Neste trabalho será utilizado o termo *agente ativante* ou *agente ativador*, que serve como um ativante da matéria orgânica, pois possui maior quantidade de bactérias, assim possibilitando que o processo de biodegradação aconteça de forma mais rápida. Porém, a degradação microbiana dos esterco ocorre de forma diferente, dependendo do animal e da sua alimentação.

O esterco de bovino foi o que apresentou maior taxa de decomposição, quando comparado com os esterco de caprinos. Isso pode ser atribuído, provavelmente, à sua estrutura que favorece o ataque dos microrganismos. Já os esterco caprino e ovino, que são em forma de "cíbalas", graças a uma membrana que os reveste, secam após serem excretados; todavia, ficaram muito duros, quando secos em estufa, contribuindo, provavelmente, para uma maior resistência à composição. Quando úmidas, as cíbalas ficam túrgidas e macias, favorecendo, assim, a atividade dos microrganismos (SOUTO *et al.*, 2005 *apud* NOVAES *et al.*, 2007).

7.2. Biodigestores

O biogás, sendo o produto da biodigestão anaeróbica da biomassa é produzido de maneira natural, devido à ação de bactérias presentes nos resíduos orgânicos. Esse processo foi utilizado por séculos pelo homem para o tratamento de esgoto. Entretanto, com a necessidade de novas fontes energéticas no último século, o processo de biodigestão teve grande destaque nos países desenvolvidos. Para a obtenção do biogás é necessário um sistema para armazenar a biomassa e possibilitar a decomposição desse material orgânico, este sistema é conhecido como biodigestor.

Segundo Reis (2012) um biodigestor é definido como sendo o meio onde ocorre o processo de degradação, transformação ou decomposição de matéria orgânica, na ausência de oxigênio, tendo como produto final o biogás. Porém, é preciso esclarecer que o biodigestor não produz o biogás, mas proporciona as condições adequadas para a produção desse combustível (WALKER, 2012).

O biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, para sofrer decomposição anaeróbica (sem a presença de ar), gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara (RODRIGUES, 2010). Como resultado desta fermentação ocorre à liberação de biogás e a produção de biofertilizante.

Existem duas classificações para os biodigestores, sendo elas, os biodigestores contínuos e os descontínuos. Os de fluxo contínuo são aqueles em que a produção de gás pode ser feita continuamente, ou seja, não há a necessidade de parar a biodigestão para se acrescentar mais matéria. Ela pode ser acrescentada a qualquer momento da digestão. O biodigestor descontínuo é aquele em que ocorre a manutenção da digestão durante todo o processo, sem que se possa acrescentar mais matéria ao mesmo. O digestor é lacrado e só é aberto quando o mesmo termina o processo, ou seja, quando a biomassa se transforma em biofertilizante e gás.

Existem vários tipos de biodigestores, mas os mesmos podem ser agrupados uma vez que são muito semelhantes. Entre podemos destacar o Indiano e o Chinês, que serão apresentados a seguir.

O biodigestor Indiano tem o processo de fermentação mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias (WALKER, 2009). Foi criado em Kampur na Índia, em 1939, sua principal característica é uma campânula flutuante que funciona como um gasômetro, podendo estar mergulhada na biomassa em decomposição. Abaixo da campânula existe uma parede central, sua função é fazer com que a biomassa circule. Dessa forma sua fermentação se torna mais homogênea.

A biomassa é colocada na câmara de alimentação que se localiza em nível terreno, passa por canos até chegar à câmara de fermentação. O gás produzido é armazenado na campânula que possui uma válvula para a coleta de gás, a biomassa resultante da fermentação sobe por um duto, para outro reservatório, e será utilizado como biofertilizante.

A campânula tem deslocamento vertical, permitindo assim um maior volume, mantendo a pressão sempre constante em seu interior. Essa pressão constante auxilia para que o gás produzido não seja consumido instantaneamente.

Esse modelo apresenta fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final. A Figura 1 mostra a vista frontal de seus componentes.

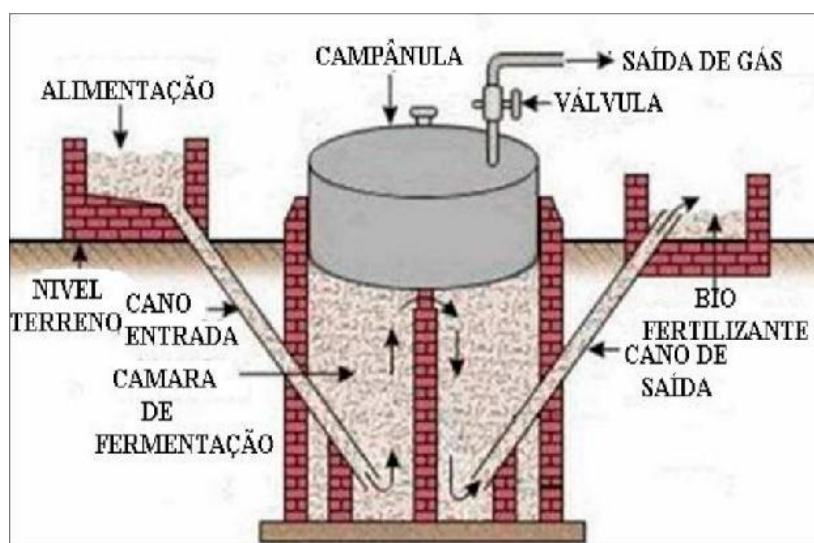


Figura 1 Biodigestor Indiano

Fonte: Fonseca et al. (2009)

Segundo Coldebella (2006), entre 1960 e 1970 a China experimentou o modelo indiano de biodigestores e concluiu que a utilização do aço para construção da campânula limitaria a instalação de biodigestores a poucos produtores rurais. A partir daí, construíram biodigestores que fossem exclusivamente de alvenaria ou materiais de construção local, e que não possuíssem partes moveis.

Este novo modelo é constituído por uma câmara cilíndrica de tijolos abaixo do nível do solo, que serve para a fermentação da matéria, tendo o teto abobado e impermeável.

A presença de água dentro da câmara cilíndrica faz com que o processo seja baseado no princípio de prensa hidráulica. Desse modo, após a fermentação e liberação do biogás, há um aumento de pressão dentro da câmara, fazendo com que os efluentes sejam deslocados para a caixa de saída e em sentido contrário quando ocorre decompressão (DEGANUTTI, *et al.* 2002).

Sua construção não é de grande dificuldade, porém, deve ser muito bem vedada e impermeabilizada. É semelhante a um forno e é necessária a utilização de uma técnica em que o peso de tijolo deve mantê-lo na posição que a argamassa seque (COLDEBELLA, 2006).

Os biodigestores Chineses e Indianos, em termos comparativos, apresentam desempenho semelhante. O biodigestor do tipo chinês também pode ser acoplado a mais tanques anaeróbicos em série, como pode ser visto na Figura 2.

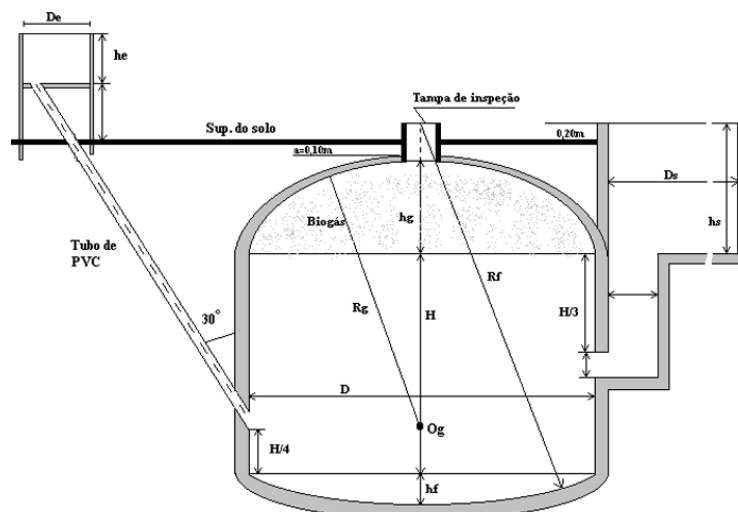


Figura 03: Biodigestor modelo Chinês.

Figura 2 Biodigestor Chinês.

Fonte: PINHO, Carlos. *Introdução às energias renováveis*.

O biodigestor de laboratório foi o modelo utilizado pelo grupo em uma pesquisa anterior. A matéria orgânica é colocada dentro de uma pera de decantação virada ao contrário, que fica presa por uma garra ao suporte universal. O gás produzido é armazenado na parte superior da vidraria, tendo sua saída controlada por uma válvula. Para a coleta é acoplada à pera uma mangueira, vedada com papel filme. A outra ponta da mangueira foi colocada dentro da proveta, que é preenchida por água em pé dentro da bacia também com água, assim impedindo a entrada do ar dentro da proveta, como mostra a Figura 3.



Figura 3: Modelo de biodigestor em laboratório.

7.3. Matéria Prima

Teoricamente toda substância orgânica natural pode ser empregada para biodigestão. Na prática, realmente são usados resíduos agrícolas, dejetos de origem animal e humana e, ainda em menor escala, restos orgânicos da fabricação de papel. São considerados resíduos de origem vegetal todas as partes de plantas que não tiveram nenhum aproveitamento direto. Por exemplo: palhas, cascas, folhas e caules (HAULY, 1983).

Segundo Ibañez, a classificação das frutas em ácidas ou semi-ácidas é definida quando o pH (potencial hidrogeniônico) da mesma é inferior a 4,5 (cítrica) ou superior, até o pH 6, (semi-cítrica). Há também as com pH superior a 6, estas definidas como oleaginosas, hídricas ou doces. Cada qual com diferente característica de

biodigestão dependendo, além do pH, da concentração de carbono e nitrogênio na composição química.

A eficiência do emprego destas matérias primas é dada pela disponibilidade, ou digestibilidade dos componentes mais importantes que são carbono e nitrogênio. Assim o carbono disponível nos resíduos vegetais está sob forma de açúcares hemicelulose e principalmente celulose. O nitrogênio é o segundo componente importante e necessário para a biodigestão. O teor de nitrogênio nas plantas varia conforme a espécie (HAULY, 1983).

O fruto ainda é formado por várias partes nas quais podem ser biodigeridas pelas bactérias, nas quais são divididas em pericarpo e a semente, e suas respectivas subdivisões.

O fruto é formado por duas partes distintas: o pericarpo e a semente. O pericarpo é originado da parede do ovário e pode ser dividido em: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Epicarpo – a parte externa e delgada. Mesocarpo – a parte mediana, comestível, que pode formar uma polpa volumosa. Endocarpo – a parte interna que fica em contato com a semente (QUEIROZ, 2011).

Conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), de cada 100 quilos de frutas colhidas, 46 quilos não são aproveitados. Isto significa uma perda diária de 15 toneladas de alimentos que vão para o lixo das Ceasas (Centrais de Abastecimento) de todo o país, e de mais 14 toneladas que são descartadas todos os dias no varejo, antes mesmo de chegarem ao consumidor final (EMBRAPA, 2006 *apud* FEDERIZZI, 2008).

Neste projeto, as frutas para a análise serão selecionadas a partir de dados que serão levantados junto à prefeitura de Jaraguá do Sul. A ideia é utilizar os cinco tipos de frutas mais servidas nas merendas das escolas públicas do Município. A partir disto serão extraído das frutas os epicarpós, as cascas. O esterco será utilizado como agente ativante da reação, no qual possui bactérias metanogênicas que aceleram o processo, assim podendo mostrar o efeito das bactérias sobre as cascas de frutas.

7.4. Formação do Biogás

O biogás é formado a partir da fermentação da matéria orgânica, o processo de biodigestão. Esta pode ser tanto aeróbica quanto anaeróbica. Isto faz com que os

processos de produção do biogás sejam diferentes de um meio para o outro. Biodigestão ou fermentação anaeróbica da matéria orgânica é um processo normalmente existente na natureza (HAULY, 1983).

No processo de biodigestão da matéria orgânica também é importante a presença de água, pois a mesma pode ser muito útil no processo, tanto para as enzimas quanto para contribuir para que o gás não fique preso na parte debaixo do biodigestor, ocasionando problemas para a coleta do gás, por exemplo.

Durante o processo de biodecomposição de matéria orgânica a presença de água favorece a condução de enzimas e de outros metabólitos microbianos contribuindo, dessa forma, para o metabolismo dos microrganismos destacando-se, predominantemente, como fator de grande importância na otimização da relação custo/benefício dos processos de tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Nos resíduos sólidos urbanos o teor de umidade é função da biodecomposição da fração orgânica putrescível, das condições climáticas e do tipo de coleta (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; *apud* LEITE *et al.*, 2009).

7.4.1 Processo anaeróbio

A digestão anaeróbia é anterior ao surgimento da vida humana, já que os microrganismos são os primeiros meios de vida existentes no planeta terra, a biodigestão era utilizada desde os primórdios da vida humana na terra, porém o gás metano, que dava características combustíveis, só foi identificada pelo químico italiano Alessandro Volta (1745 – 1827) no ano de 1766. Ele identificou o metano no gás dos pântanos, resultado da biodigestão de restos de vegetais em ambientes confinados. Na década de 1970, em meio a uma crise energética, a biodigestão surgiu como uma opção para o meio rural chinês e indiano. Apesar de ter atingido seu auge na década de 1970 na produção de combustível, o fato deste meio de produção de energia também proporcionar a depuração de compostos contaminantes e transformá-los em compostos biofertilizantes favoreceu um avanço tecnológico na área. A digestão anaeróbica passou de produtora de biogás para também ser uma depuradora de compostos contaminantes (BENRY *et al.* 2003).

A digestão anaeróbia (DA) pode ser definida como um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio molecular livre, no qual diversos grupos de micro-organismos envolvidos no processo anaeróbio possuem alto grau de especificidade e cada grupo atua na conversão da matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídios) em metano, compostos inorgânicos como o dióxido de carbono, nitrogênio, amônia livre, gás sulfídrico e traços de outros

gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Os microorganismos envolvidos no processo anaeróbio possuem alto grau de especificidade e cada grupo atua em reações específicas (FORESTI *et al.*, 1999).

É possível notar que a digestão anaeróbia é um ecossistema muito sensível a alterações. Já que cada grupo de bactérias depende de substrato fornecido pelo grupo anterior. A mesma é dividida em quatro etapas principais que são a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Hidrólise: A hidrólise é a primeira etapa na degradação anaeróbia de polímeros complexos, tais como carboidratos, proteínas e lipídeos, necessária para reduzir material particulado e dissolvido. Sendo assim, a hidrólise do material particulado, bem como de material solúvel de maior tamanho, é uma etapa essencial para aumentar a biodisponibilidade, ou seja, o acesso do substrato às células microbianas (AQUINO E CHERNICHARO, 2005 *apud* ABREU, 2007). Materiais orgânicos complexos, carboidratos, aminoácidos, ácidos graxos de cadeia longa e álcoois são convertidos a compostos orgânicos de cadeia curta, que serão metabolizados na fase seguinte (SILVA, 2009). Segundo Van Handel e Lettinga (1994 *apud* SILVA, 2009), as proteínas são degradadas para formar aminoácidos; os carboidratos se transformam em açúcares solúveis e os lipídeos são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa (15-17 carbonos) e glicerina. A hidrólise age como limitante quanto o substrato está em uma forma particulada.

Acidogênese: Os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise, são absorvidos e metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, que, por sua vez, excretam substâncias simples, como ácidos graxos voláteis (AGV) de cadeia curta, álcoois, ácido lático e compostos inorgânicos (CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , etc.). A acidogênese é realizada por um grupo diversificado de bactérias anaeróbias obrigatórias em sua maioria. Entretanto, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar a matéria orgânica por via oxidativa, utilizando oxigênio molecular (O_2) como receptor de elétrons, removendo, eventualmente, resíduos de oxigênio dissolvido no sistema e, dessa forma, eliminando qualquer efeito tóxico aos microrganismos estritamente anaeróbios, dentre eles, as arqueias metanogênicas. Os produtos metabólicos gerados

pela atividade das bactérias acidogênicas são importantes substratos para as bactérias acetogênicas e para as arqueias metanogênicas (ABREU, 2007).

Acetogênese: É nesta fase que os produtos gerados na acidogênese são transformados em substratos para a produção de metano, os microrganismos presentes nesta etapa tem como função principal degradar os ácidos graxos e os álcoois para originarem acetato. A etapa da fermentação acidogênica possui uma grande importância na conversão de matéria orgânica em energia na forma de metano, pois a conversão do substrato gerado na acidogênese a acetato deve ser rápida para que a produção de energia venha ser economicamente viável, uma vez que o acetato vem a ser o principal precursor do metano. Não havendo essa conversão, tampouco haverá metanogênese, ocorrendo o acúmulo dos produtos da hidrólise e da fermentação ácida no reator (SILVA, 2009).

Se por alguma razão a taxa de remoção de ácidos voláteis através da metanogênese não acompanha a taxa de produção dos mesmos pode surgir uma situação de instabilidade, com a produção líquida de ácidos, resultando na diminuição do valor do pH. Tal fato pode causar uma redução na atividade metanogênica e um aumento na produção líquida de ácido, ocasionando o que se denomina de acidificação do conteúdo do reator, sendo a causa mais comum de falha operacional em sistemas de tratamento anaeróbio (VAN HAANDEL *et al.*, 1994 *apud* SILVA, 2009).

Metanogênese: Segundo Abreu, 2007, o metano é produzido pelas arqueias metanogênicas por duas vias metabólicas principais: hidrogenotrófica e acetotrófica. As arqueias hidrogenotróficas são autótrofas, reduzindo CO_2 a metano e usando H_2 como doador de elétrons, liberando H_2O . As arqueias acetoclásticas são heterótrofas, produzindo o metano e CO_2 a partir da redução do acetato (fermentação). Estas últimas têm grande importância em reatores anaeróbios, uma vez que é conhecido que cerca de 70% do metano produzido nestes sistemas é resultante da degradação de acetato.

As bactérias metanogênicas são as mais exigentes de todo o processo de biodigestão, quanto as condições ambientais. Elas são muito sensíveis quanto a variação do pH sendo o pH ótimo para a produção de gás entre 7,0 e 7,2, mas funcionando ainda satisfatoriamente numa faixa de pH entre 6,6 e 7,6 (HAULY, 1983).

7.4.2 *Processo aeróbio*

A digestão aeróbia é um processo biológico de estabilização de material orgânico por aeração, com a presença de ar. Tem sido bastante utilizada para

estabilização de lodos ativados, tratando esgotos domésticos. Aplicações da digestão aeróbica de que se tem conhecimento são de mistura de lodo primário e secundário de estações que utilizam filtro biológico. Tem maior facilidade de operação já que não exige tantos cuidados, quando comparado com a digestão anaeróbia. Além disso, forma um produto final inodoro e biologicamente estável e que pode ser facilmente eliminado. Na fermentação aeróbia o processo ocorre em duas fases. Primeiramente os compostos orgânicos complexos são oxidados, havendo liberação de energia e formação de vapor de água, CO_2 e NH_3 pela reação de respiração e também liberação de material celular pela reação de síntese. É nessa etapa que há maior consumo de oxigênio e também um maior crescimento das bactérias. Caso não haja alimento correspondente a quantidade de material celular acontece então a respiração endógena, que é a atividade de auto-oxidação nas células. Ela envolve a liberação de energia e a redução da população de organismos viáveis do sistema (TEIXEIRA, 1981).

7.5. Cinética Química da Reação

A cinética química é o estudo das velocidades e mecanismos das reações químicas. A velocidade de uma reação química é medida conforme a velocidade de formação dos produtos e o consumo dos reagentes. A equação simplificada para uma reação não exhibe as etapas, apenas mostrando de uma maneira geral o resultado final das reações. Muito do que se é conhecido sobre os mecanismos provém do estudo das velocidades da reação e de como são influenciadas por vários fatores. De maneira geral, a velocidade é determinada pelas propriedades dos reagentes, pelas concentrações dos reagentes e pela temperatura. A velocidade ainda pode ser alterada também pelas superfícies de contato dos reagentes. A mesma ainda pode ser separada em ordem, conforme for a influência da concentração dos reagentes na velocidade da reação. Assim, por exemplo, se for dobrada a concentração de apenas um reagente e a velocidade da reação também dobrar, a reação é de 1ª ordem, reação unimolecular com relação aquele reagente.

Reações unimoleculares elementares têm leis de velocidade de primeira ordem; reações elementares bimoleculares têm leis de velocidade de segunda ordem. Uma lei de velocidade é frequentemente derivada de um mecanismo proposto impondo-se a aproximação do estado estacionário. Um mecanismo proposto deve ser consistente com a lei de velocidade experimental (ATKINS; JONES, 2001).

7.5.1 Velocidade de reação e mecanismos

O significado de velocidade: a velocidade de reação mede quão rapidamente um reagente é consumido ou um produto é formado, durante a reação. Para ver como as velocidades de reação podem ser descritas quantitativamente, considere a reação genérica.



Expressar a velocidade da reação numericamente não é fácil, pois a velocidade com que os reagentes são consumidos (e os produtos formados) varia constantemente. Diante deste problema, como expressar a velocidade? Uma maneira para o problema é considerar uma velocidade *média* de desaparecimento de A (queda da concentração) num certo intervalo de tempo.

Esta velocidade *média* de desaparecimento de A durante o intervalo de tempo é definida pelo correspondente intervalo de tempo:

$$V_m = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

Muito mais útil que a velocidade média é a medida da velocidade num determinado instante, a velocidade *instantânea*. A velocidade instantânea de uma reação é a inclinação da reta tangente à curva de concentração versus tempo no ponto desejado.

Para o método gráfico percebe-se vantagens sobre o método de velocidade inicial, uma delas é que para o método gráfico só é necessário um experimento para a obtenção de dados, com a finalidade de determinar a ordem da reação e avaliar a constante de velocidade (k). O método gráfico é o método que será utilizado para obtenção de qual ordem é a reação de formação do biogás. A equação abaixo representa uma cinética de primeira ordem, onde V_t representa o volume de biogás produzido em um tempo t:

$$\ln V_t = -k.t + \ln V_0$$

Um gráfico de $\ln V_t$ versus t possui como coeficiente angular $-K$.

Já uma cinética de segunda ordem segue a equação a seguir

$$\frac{1}{c} = k \cdot t + \frac{1}{a}$$

Um gráfico de $1/c$ versus t possui como coeficiente angular K .

8. Metodologia

1ª etapa

Para produzir o biogás será utilizado o biodigestor modelo de laboratório que foi elaborado no projeto anterior, conforme citado na fundamentação teórica. Neste experimento a matéria será colocada dentro de uma pera de decantação, que estará presa a garra e assim mantendo-se fixa no suporte universal. A pera de decantação estará em um recipiente com água à temperatura ambiente. Para realizar a coleta dos dados será acoplada à pera de decantação uma mangueira, e irá se utilizar uma proveta invertida e cheia d'água dentro da bacia, também com água, assim impedindo a entrada do ar dentro da proveta. A outra ponta da mangueira será colocada dentro da proveta, como mostra a Figura 1.

Serão selecionados cinco tipos de cascas de frutas, a partir de dados coletados pelo grupo, sendo cítrica ou semi-cítricas, e colocadas separadamente em cada pera de decantação. Já com a matéria dentro da pera será acrescentada água destilada. O processo será feito retirando o máximo possível do ar com ajuda da bomba a vácuo (Primatec). Será preparada uma solução de esterco com determinada concentração que será acrescentada a solução de cascas de frutas. Serão feitas coletas da quantidade de biogás produzido e a verificação do pH (TecnoPON) em tempos pré-determinados.

2ª etapa

Dentre as cascas de frutas utilizadas para a biodigestão, no processo anterior, será selecionada aquela com maior produção de biogás. Esta será submetida a variações de temperatura e quantidade de agente ativante, sendo apenas uma variável avaliada a cada experimento.

Os volumes de gás produzidos a cada intervalo de tempo serão tabelados e analisados a fim de determinar o rendimento de cada biodigestão e a cinética de cada processo.

Tratamento dos rejeitos

Os resíduos gerados serão dispostos à natureza sem qualquer necessidade de tratamento prévio, uma vez que se trata de biogás e a biomassa das cascas de fruta. O biogás será liberado a atmosfera enquanto a biomassa será utilizada como biofertilizante, podendo ser descartada no próprio câmpus.

9. Cronograma

Período Atividades	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
Aprofundamento da fundamentação teórica	X	X	X		
Seleção das cascas de frutas que serão utilizadas	X				
Montagem do biodigestor e preparar a solução de agente ativante	X				
Experimentos de decomposição da matéria orgânica quantificando o biogás produzido		X	X		
Selecionar a casca de fruta que mais produziu biogás			X		
Quantificar o efeito da temperatura e do agente ativador na produção de biogás			X	X	
Determinar a cinética da reação				X	
Redação da versão final				X	X

Referências

- ABREU, Erika Ferreira. *Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. *Princípios de química*. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BRONZATTI, L. Fabricio; NETO, I. Alfredo. *Matrizes Energéticas no Brasil Cenário: 2010-2030*. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2008.
- CATAPAN, Anderson; CATAPAN, Dariane C.; CATAPAN, Edilson A. *Formas alternativas de geração de energia a partir do biogás: uma abordagem do custo de geração de energia*. Universidade Federal do Paraná. 2011.
- COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel N. M.; FERRI, Priscila; KOLLING, Evandro M. *Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura*. Informe Gepec, v. 12, n. 2. 2008.
- COLDEBELLA, Anderson. *Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. 2006. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharias Agrícola.
- COSTA, F. David. *Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás do Tratamento de Esgoto*. Universidade de São Paulo – USP. Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia. 2006.
- DEGANUTTI, Roberto; PALHACI, Maria C. J. P.; ROSSI, Marco; TAVARES, Roberto; SANTOS, Claudemilson. *Biodigestores rurais: Modelo indiano, chinês e batelada*. 2002. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho.
- Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC). *Santa Catarina em Dados*. Unidade de Política Econômica e Industrial – p. 152. Florianópolis, FIESC. 2012.

FEDERIZZI, Mauri. *Potencialidade do uso de resíduos lignocelulósicos da bananicultura como substrato de fermentação do processo de metanização*. Univille – Universidade da Região de Joinville. 2008.

FONSECA, Fernando Sergio de Toledo; ARAÚJO, Ana Régia Alves de; HENDGES, Tiago Luiz. *Análise de Viabilidade Econômica de biodigestores na Atividade Suinícola na cidade de Balsas - MA*. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 26 a 30 de julho de 2009.

FORESTI, E.; FLORENCIO, L.; VAN HAANDEL, A,C.; ZAIAT, M & CAVALCANTI, P.F.F. *Fundamentos do tratamento anaeróbio. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro. PROSAB, p29-52. (1999).

HAULY, Maria Celia de Oliveira; OLIVEIRA, Antonio Sergio de; POPPER, Irene. *Digestão microbiana de matéria orgânica, produção de biogás e biofertilizante*. Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina. 1983.

IBAÑEZ, Zunilda. *Conservacion de frutas y hortalizas*. INTA – Instituto de Nutrición y Tecnologia de los alimentos. 2011.

JORDAN, R. A; CORTEZ, L. A.B.; NEVES FILHO, L. C.; LUCAS Jr, J. *Bomba de calor água-água acionada a biogás para utilização em processo de aquecimento e resfriamento em laticínios*. Leite & Derivados.São Paulo, p.52-64, 2003.

LEITE, Valderi D.; LOPES, Wilton S.; SOUSA, José T. de; PRASAD, Shiva; SILVA, Salomão A. *Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos*. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental. v.13, n.2, p.190–196, 2009.

NOVAES, Antonio Pereira de; FAUSTINO, Adriana Soares; SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. *Eficiência do Processo de Biodigestão em Fossa Séptica Biodigestora Inoculada com Esterco de Ovino*. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2007.

PEREIRA, William Caldart; PAVAN, André Aparecido. *Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás na suinicultura*. UNIOESTE – CCET, Campus Cascavel. 2004

PINHO, Carlos. *Introdução às energias renováveis*. PPGE - UFPA. Programa de Pós Graduação em engenharia elétrica. 2013.

QUEIROZ, José E. G.. *Botânica geral e comparada 1*. Faculdade de Tecnologia e Ciências. Licenciatura em Biologia – EaD. 2011

REIS, S. Alexsandro. *Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestores Anaeróbicos*. Universidade Federal do Pernambuco – UFPE. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. 2012.

RODRIGUES, Ciro Daré. *Análise de viabilidade de implantação de biodigestor na volkswagen do brasil – planta anchieta – são bernardo do campo – sp*. “um estudo de caso”. Monografia em Gestão Ambiental - Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SANTOS, A C. V. dos. *Biofertilizante Líquido: o defensivo agrícola da natureza*. 2 ed. 2005.

SEIXAS, Jorge; FOLLE, Sérgio; MARCHETTI, Delmar. *Construção e funcionamento de biodigestores*. 1981. Circular Técnica, 4. EMBRAPA, Brasília, 1981.

SILVA, Raquel C. M. *Evolução histórica do uso de biogás como combustível*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá.

SILVA, Wellington Régis. *Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduo sólidos vegetais*. Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa. 2009.

TEIXEIRA, Sonia M. V.; SOBRINHO, Pedro A. *Digestão aeróbia de lodo de esgoto doméstico*. Revista DAE. Nº 125. 1981.

WALKER, Eliane. *Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais*. Dissertação de mestrado em Modelagem Matemática. Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. IJUÍ, 2009.