



Universidade de Brasília
Instituto de Química
Curso de Bacharelado em Química Tecnológica

CAROLINA MEDEIROS ROMERA

**PARTIDA DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA VISANDO O
TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE PALMA**

Trabalho de Conclusão de Curso

Brasília, DF
2020

Carolina Medeiros Romera

**PARTIDA DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA VISANDO O TRATAMENTO DE
EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE PALMA**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de graduação em Química Tecnológica da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Química Tecnológica.

Orientador: Dra. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno
Coorientadora: Dra. Sílvia Belém Gonçalves

**Brasília, DF
2020**

Romera, Carolina Medeiros.

Partida do Processo de Digestão Anaeróbia Visando o Tratamento de Efluente da Indústria de Óleo de Palma / Romera, Carolina Medeiros. Brasília: UnB, 2020. 43 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília, 2020. Orientação: Dra. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno

1. POME. 2. Redução de carga orgânica. 3. Digestão Anaeróbia. 4. DQO

I. Damasceno, Fernanda Ribeiro do Carmo.

CDU Classificação

Carolina Medeiros Romera

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Química Tecnológica do Instituto de Química da Universidade de Brasília, em 13/02/2020 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo:

Prof. Dra. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno, IQ/UnB
Presidente

Prof. Dr. José Joaquin Linares León, IQ/UnB
Membro Titular

Dr. João Bosco Rodrigues Peres Jr
Membro Titular

Brasília, DF
2020

“Na vida, não existe nada a se temer, apenas a ser compreendido”.

Marie Curie

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meu avô, minhas avós, meus tios e minhas tias por toda a torcida pelo meu sucesso, por cada história compartilhada, cada vibração e pela contínua vontade de me ver crescer.

À minha mãe, Renata e meu pai, Wladimir, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada etapa desse processo, pela confiança nas minhas decisões, por me acompanharem em cada batalha e comemorarem cada vitória. Ao meu irmão, Luís Felipe, pela companhia sempre, por ouvir todas as histórias, por ser meu companheiro de estudos e meu companheiro de vida. Vocês me inspiram todos os dias

Agradeço à minha orientadora Fernanda Damasceno pela disposição, pelo aprendizado, pela paciência, por todo conhecimento compartilhado e pelo otimismo, espero ser uma cientista tão boa quanto a senhora. À equipe de técnicos da UnB, em especial ao Júlio Martins, Betânia Quirino e Rodolfo Cavalcante por todo o suporte, pela ajuda e disponibilidade.

Agradeço também a toda equipe da Embrapa Agroenergia, à minha orientadora Sílvia, por se disponibilizar a me orientar dentro da Embrapa, por todo seu olhar crítico, seu conhecimento e sua habilidade de sempre encontrar outras formas de analisar um problema, sua orientação foi essencial. Aos técnicos do LPB por me ajudarem, ao Wesley Oliveira pela disponibilidade e a equipe da Planta Piloto, em especial ao Felipe Carvalho por me ajudar em cada etapa de produção, pelo apoio e por acreditar que este TCC ia sair até quando eu tinha dúvidas, sou muito grata.

Aos meus amigos do curso, em especial Giorgiane, Isabela, Estevan, Matheus e Igor, meus companheiros de batalha, agradeço pela amizade, pela companhia, por compartilharem as alegrias e os desesperos, por me manterem motivada, foram anos incríveis com vocês.

Às minhas amigas do Marista, Bruna, Karina, Luciana, Ana Lúcia, Hingrid e Clarissa por acompanharem essa caminhada desde o comecinho, desde a escolha do curso até a formatura, pelo apoio sempre, por sempre oferecerem um abraço, um conselho e carinho. Espero crescer cada vez mais com vocês.

RESUMO

O Óleo de Palma é atualmente o óleo mais produzido e consumido no mundo. Além de ser muito utilizado no ramo alimentício, este produto é visto como ambientalmente amigável, uma vez que sua palmeira possui alta absorção de gás carbono. No entanto, a atividade industrial para extração do óleo é característica pela geração de poluentes e resíduos, que, se não tratados adequadamente, são prejudiciais ao meio ambiente. Na extração do óleo de palma é gerado o POME (*Palm Oil Mill Effluent*), que possui aspecto líquido com uma grande quantidade de sólidos. Este resíduo possui carga orgânica muito alta, sendo considerado tóxico, principalmente para os cursos d'água e lençóis freáticos. Devido a alta carga orgânica presente no POME, o tratamento biológico anaeróbio torna-se interessante do ponto de vista econômico e social, uma vez que esta tecnologia é caracterizada pela remoção da carga orgânica com geração de biogás, o qual pode ser utilizado como fonte de energia alternativa. O presente trabalho teve como objetivo o estabelecimento das condições ideais para início de operação de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). Foram realizadas três bateladas de digestão anaeróbia contendo 30%, 50% e 70% de inoculo, por um período aproximado de 12 dias cada batelada. Os resultados de remoção de matéria orgânica foram bons, chegando a 93,83% de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), 64% de remoção de sólidos totais voláteis, indicando presença de matéria orgânica também na parte sólida do efluente. Foi possível observar que o método escolhido para tratamento do POME se demonstrou eficiente na remoção da matéria orgânica presente.

Palavras-Chave: POME, digestão anaeróbia, UASB, DQO, carga orgânica.

ABSTRACT

Palm Oil is currently the most produced and consumed oil in the world. In addition to being widely used in the food industry, this product is seen as environmentally friendly, since its palm tree has high carbon gas absorption, in addition to gaining space in industries because it is used as raw material for biogas production. Industrial activity is characteristic for the generation of pollutants and waste, to reduce the environmental and social impact it is necessary that these waste sums through a treatment or recycling system generating by-products and giving new disposals to the matter. In the case of palm oil the effluent generated is POME, which has a liquid aspect with a large amount of solids. This residue has a very high organic load, being considered toxic, mainly for groundwater, in the search for a treatment, anaerobic digestion was chosen, since this method is characteristic for the removal of organic load and generation of little slime, that is, few solids. The process was carried out in the UASB reactor, a simple equipment where the stabilization of matter occurs in the sludge blanket, conducive to solid reduction and biogas generation. Three digestion batches containing 30%, 50% and 70% of inoculum were performed for approximately 12 days, then analyses of BOD, COD, total organic carbon and total solids were performed. The results of COD were very satisfactory, reaching 93.83% of COD removal, the decrease in solids present and the amount of volatile solids, above 64%, indicated that most of the present matter is biodegradable, the results of APR and BOD also indicated that organic matter was reduced and degraded. It was possible to observe that the method chosen for the treatment of POME was efficient.

Keywords: POME, anaerobic digestion, COD, Total solids, organic load removal.

LISTA DE ABREVIATURASDQO

POME: Palm Oil Mill Effluent

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket

DQO: Demanda Química de Oxigênio

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

pH: Potencial Hidrogeniônico

DENPASA S/A: Dendê do Pará S/A

COT: Carbono Orgânico Total

NT: Nitrogênio Total

PPM: Parte por milhão

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1- Fruto do dendzeiro</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2- Óleo de Palma (esquerda) e Óleo de Palmiste (direita).....</i>	<i>1</i>
<i>Figura 3- Gráfico do consumo mundial de óleo vegetal.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 4- Processo de extração do óleo de palma.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5- Produção de POME e óleo de palma.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6-Processo de digestão anaeróbia.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7- Reator UASB</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8- POME.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 9- Inoculo.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10- Reator UASB utilizado</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11- Reator UASB utilizado</i>	<i>20</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- <i>Caracterização do POME</i>	6
Tabela 2 – <i>Resultados das análises de DQO e redução de DQO obtida</i>	21
Tabela 3 – <i>Análise de sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos</i>	22
Tabela 4 – <i>Porcentagem de sólidos fixos e sólidos voláteis removidos após tratamento</i>	22
Tabela 5 – <i>Resultados de COT, nitrogênio total e razão C/N</i>	24

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. ÓLEO DE PALMA.....	4
2.2. EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	5
2.3. POME.....	6
2.4. DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	10
2.5. REATOR UASB.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GERAL.....	15
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	16
4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	16
4.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	16
4.1.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	16
4.1.3. CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	17
4.1.4. NITROGÊNIO TOTAL.....	17
4.1.5. SÓLIDOS TOTAIS FIXOS E VOLÁTEIS.....	17
4.1.6. ACLIMATIZAÇÃO DO INOCULO.....	18
4.1.7. INÍCIO DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	21
5.2. SÓLIDOS TOTAIS.....	22
5.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	23
5.4. CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	24
6. CONCLUSÃO.....	26
7. PERSPECTIVAS.....	27
8. REFERÊNCIA.....	28

1. INTRODUÇÃO

O óleo de palma é um produto obtido do fruto do dendezeiro, conforme ilustrado na Figura 1, cultivado principalmente em regiões de clima tropical. Mundialmente é encontrado principalmente na Indonésia, enquanto no Brasil sua produção ocorre em maior quantidade nos estados do Pará e da Bahia. Do fruto são obtidos dois produtos diferentes: o óleo de palma e o óleo de palmiste (Figura 2), o óleo de palma é proveniente da polpa, enquanto o óleo de palmiste é originário da amêndoa, a “semente” do fruto (eCycle, 2010).



Figura 1- Fruto do dendezeiro

Fonte: Abrapalma, 2015



Figura 2- Óleo de Palma (esquerda) e Óleo de Palmiste (direita)

Fonte: Abrapalma, 2015

O óleo de palma apresenta um rendimento de 22% de cada cacho de onde é extraído, é rico em ácido oleico e palmítico, pode atuar como antioxidante e é rico em compostos contendo vitamina A e vitamina E, por esse motivo está muito presente na indústria alimentícia. Ambientalmente o cultivo da planta apresenta aspectos positivos e negativos, uma vez que sua cultura de plantio tem aumentado desmatamentos, por outro lado este óleo já vem sendo estudado como nova fonte de biocombustível (eCycle, 2010).

Efluentes industriais são materiais resultantes de um processo realizado em indústria ou despejo líquido proveniente da própria indústria, pode ser esgoto, águas pluviais poluídas ou água de refrigeração (CIMM, 2005). Estas substâncias passam por processos que permitem a retirada de sólidos e materiais poluentes. Sendo assim, a matéria deve passar por diferentes

etapas de tratamento para que tenha uma disposição final, estas etapas são definidas como tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário (COLONESE, 2016).

Como citado, o óleo de palma tem sido utilizado para a produção de biocombustíveis e novas fontes de energia. Num estudo da Empresa de Pesquisa Energética em 2018, foi apontado que 56,8% das fontes energéticas do Brasil são fósseis, enquanto 43,2% são renováveis (Empresa de Pesquisa Energética, 2018). A atividade industrial atrelada ao estudo do biocombustível com fruto da palma resulta na formação de uma grande quantidade de resíduos e efluentes, como por exemplo, o POME (*palm oil mill effluent*).

O POME é composto em sua maioria por água e matéria orgânica e seu tratamento biológico anaeróbio é capaz de gerar biogás, tendo subprodutos como biofertilizantes (MARINHO, 2016). Por ser originário de um óleo produzido em abundância, o POME também é obtido em grandes quantidades, para cada tonelada de óleo de palma são produzidas 3 toneladas do efluente (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011), o biogás gerado a partir de seu tratamento pode ser utilizado como fonte de energia alternativa, na própria planta industrial. Este efluente apresenta alta carga orgânica, e, se descartado sem tratamento prévio, tem alto poder poluente, sendo maligno para os cursos d'água superficiais, bem como para os lençóis freáticos, por este motivo, é necessário que passe por um tratamento que busque diminuir os compostos orgânicos presentes (DAMASCENO, 2013).

Existem diversas opções para o tratamento do POME, porém a mais utilizada é a digestão anaeróbia (SIQUEIRA, 2008). Este método consiste na estabilização da matéria orgânica, ou seja, sua degradação, esta ocorre em um ambiente livre de oxigênio e busca transformar a matéria orgânica complexa em composto de menor peso e tamanho, principalmente metano e gás carbônico, diminuindo assim seu potencial de poluição (SIQUEIRA, 2008).

A digestão anaeróbia pode ocorrer em lagoas de estabilização, tanques de digestão e diversos tipos de reatores, um muito utilizado, principalmente para o tratamento de efluentes com alta carga orgânica é o Reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), um reator de manta de lodo de fluxo ascendente. Neste equipamento o efluente é inicialmente encontrado na parte de baixo, onde parte de seus sólidos são decantados e a mistura do sistema ocorre pela geração de bolhas de gás em fluxo ascendente a digestão e estabilização da matéria ocorre na manta de lodo (região superior) do reator (Águas Claras Engenharia, 2012).

Neste trabalho foi realizado um estudo acerca do início da operação de um reator UASB, visando diminuição da carga orgânica do POME, com conseqüente geração de biogás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÓLEO DE PALMA

O óleo de palma é proveniente da *Elaeis guineenses jacq*, popularmente conhecida como palma ou dendezeira, encontrado originalmente na costa leste do continente africano e cultivado em regiões de clima tropical, por exemplo, no Brasil (ABRAPALMA, 2015). O óleo de palma é extraído da polpa ou mesocarpo do fruto da palma, sendo utilizado principalmente no setor culinário e é o óleo vegetal mais comercializado no mundo, cerca de 31% do consumo mundial está relacionado ao óleo de palma, como pode ser visualizado na Figura 3, sendo seus principais produtores a Malásia e Indonésia (WANTUIL, 2016).

O óleo de palma apresenta 41% de gorduras saturadas (WANTUIL, 2016), porém não apresenta gorduras trans e é capaz de manter suas propriedades mesmo a altas temperaturas, além disso, sua palmeira de origem apresenta alta ação fotossintética, produzindo uma alta quantidade de oxigênio, mas principalmente conferindo um alto poder de absorção do gás carbônico (ABRAPALMA, 2015).

Consumo mundial de óleo vegetal*

31% Óleo de palma
28% Soja
15% Colza
07% Girassol
07% Algodão
04% Palmiste
03% Amendoim
03% Coco
02% Oliva

*Dados de 2011



Figura 3- Gráfico do consumo mundial de óleo vegetal

Fonte: Abrapalma, 2015

Além de ser amplamente utilizado como óleo de cozinha devido a suas propriedades físico-químicas, o óleo de palma também ganha uma importância socioeconômica ao apresentar-se como opção de energia renovável. Tal fato é justificado pela utilização da palma como fonte para produção de biodiesel. Além de tais aplicações, o óleo de palma também pode ser utilizado na área de cosméticos e ração para animais (WANTUIL, 2016).

O Brasil tem se destacado como um país de cultivo e produção consciente do óleo de palma. A monocultura dessa espécie nos maiores países exportadores de palma tem resultado em impactos ambientais negativos, tais como uma vasta área desmatada destinada às lavouras, além da depreciação da fauna existente. Buscando um caminho contrário para essa realidade, o Brasil implementou o ZEA da palma- Zoneamento Agroecológico Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo da Amazônia, nele ações como retenção de até 50% da área para cultivo do dendzeiro buscam diminuir o desmatamento das regiões, além disso normas de segurança no trabalho também devem ser seguidas protegendo o trabalhador (ABRAPALMA, 2015).

2.2. EFLUENTES INDUSTRIAIS

Efluentes industriais são materiais resultantes de um processo realizado em indústria ou despejo líquido proveniente da própria indústria, pode ser esgoto, águas pluviais poluídas ou água de refrigeração (CIMM, 2005). Estas substâncias passam por processos que permitem a retirada de sólidos e materiais poluentes. Sendo assim, a matéria deve passar por diferentes etapas de tratamento para que tenha uma disposição final, estas etapas são definidas como tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário (COLONESE, 2016). Em 2015 foram relatados que apenas 30% das águas residuais coletadas tenham sido tratadas de forma eficiente (BALLESTERO, ARROYO, & MEJÍA, 2015)

Como citado anteriormente, os efluentes passam por uma série de tratamentos para reduzir o material suspenso, decantado, metais pesados, entre outras partículas responsáveis pelo caráter poluidor do líquido. O pré-tratamento busca reduzir sólidos grosseiros e condicionar efluentes, entre eles se encontram o gradeamento, peneiramento e equalização. O tratamento primário visa a retirada de sólidos sedimentares e matéria flutuante, pode ser coagulação e flotação, sedimentação ou até mesmo precipitação química. O tratamento secundário permite a remoção da matéria orgânica por técnicas anaeróbias, por exemplo, digestão anaeróbia ou processos aeróbios como estabilização e biorreator com membrana. Por fim, o efluente pode ser submetido a um tratamento terciário que irá melhorar sua qualidade, por exemplo, a oxidação química (METCALF, 2013).

Em 17 de Março de 2005 foi instituída a resolução CONAMA nº 257, que busca definir parâmetros da água, quantidade de metais presentes em sua composição, classificação de qualidade, de salubridade, tratamentos, atividades entre outros aspectos, uma vez que esse

meio é foco de atividade poluidora e deve ser preservado em prol do meio ambiente e de todas as espécies que dependem do mesmo (BRASIL, 2005):

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. (RESOLUÇÃO CONAMA N° 257, 2005, pg 1) (BRASIL, 2005).

Existe uma necessidade de ação conjunta entre governo e população para que ocorra a destinação correta dos efluentes industriais gerados (da SILVA, FUGII, & SANTOYO, 2017). O efluente industrial varia de acordo com o processo que o gera, suas propriedades químicas, físicas e biológicas também, sendo assim, o tratamento ao qual este será submetido também pode variar. O tratamento pode ser físico e possui relação com tamanho de partículas, peso e viscosidade. Tratamento químico é eficiente quando analisado as características químicas do material tratado e por fim os processos biológicos que atuam nas propriedades bioquímicas do líquido, eliminando principalmente partículas solúveis (CIMM, 2005). Os principais tratamentos são por meio do lodo ativado, lagoas de estabilização e reatores anaeróbios, esses caracterizam 80% dos procedimentos utilizados (NOYOLA, 2012).

2.3. POME

O óleo de palma é um dos óleos com maior produção mundial. Em 2008 foram produzidos 42,7 toneladas desse óleo (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011). Este fato se justifica devido à alta capacidade de geração de biodiesel fornecida pelo óleo de palma. Sabe-se que a produção de combustível gera uma quantidade considerável de efluentes que necessitam de uma destinação final. Um exemplo de efluente proveniente da extração do óleo de palma é o POME (*palm oil mill effluent*), (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011). Este produto é composto em sua maioria por água (95-96%), sólidos suspensos (4-5%), óleos e graxas (0,6-0,7%), além de compostos fenólicos, aminoácidos e nutrientes orgânicos encontrados em quantidades de partes por milhão (ppm's') (AHMED, YAAKOB, AKHTAR, & SOPIAN, 2014).

O POME é considerado um resíduo tóxico, uma vez que possui uma grande quantidade de matéria orgânica, sendo expressas em altas taxas de demanda química de oxigênio (DQO), que podem atingir valores superiores a 100.000 mg/L, conforme valores expressos na Tabela 1 e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sendo necessário um tratamento do produto. Essas características conferem ao POME alta capacidade poluente,

caso atinja cursos d'água próximos sem passar por devido tratamento (JI, EONG, TI, SENG, & LING, 2013).

Tabela 1- Caracterização do POME

Parameter	Unit	Range
pH	–	4–5
Biological oxygen demand (BOD)	mg/L	25,000–65,714
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	44,300–102,696
Total solids (TS)	mg/L	40,500–72,058
Suspended solids (SS)	mg/L	18,000–46,011
Volatile solids (VS)	mg/L	34,000–49,300
Oil and grease (O and G)	mg/L	4000–9341
Ammoniacal nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	35–103
Total nitrogen (TN)	mg/L	750–770

O POME é obtido no processo para extração do óleo de palma. Este processo, o qual pode ser visualizado na Figura 4, é iniciado no transporte do fruto e em seguida é depositado em celas de esterilização a 140°C durante 90 minutos, permitindo que o mesocarpo seja processado com facilidade liberando óleo e evitando a formação de ácidos livres. Depois da separação dos frutos, estes são amassados a 90°C para a formação do óleo de palma bruto, além da adição de água para melhor escoamento do óleo. A etapa de clarificação separa o óleo do material fibroso, utilizando-se a técnica de centrifugação. Em seguida, o produto para pelo processo de secagem, sendo o óleo alocado em tanques. A torta de fibra resultante é utilizada para produção de combustível, as nozes são processadas em hidrociclones e a água residual é descartada (AHMED, YAAKOB, AKHTAR, & SOPIAN, 2014).

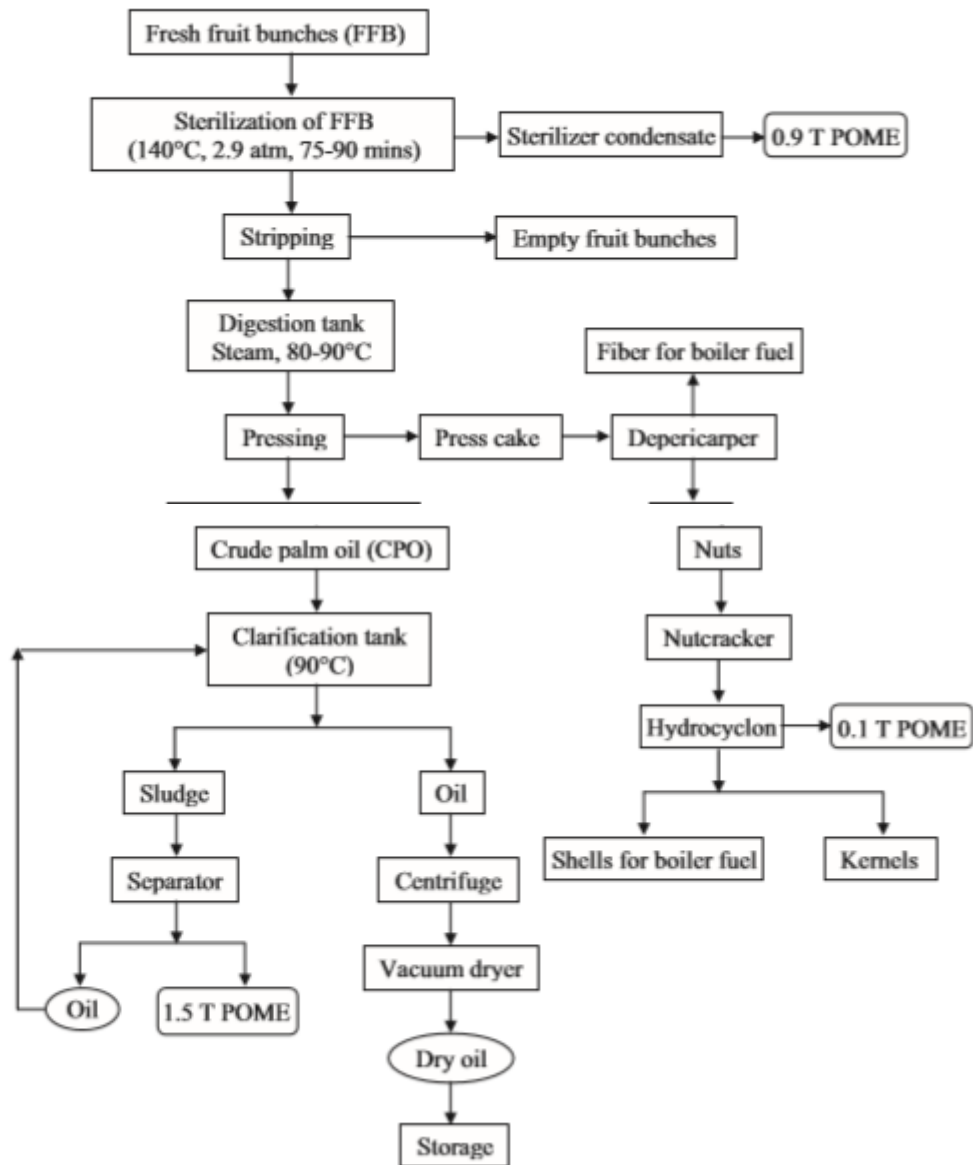


Figura 4- Processo de extração do óleo de palma

Fonte: Ahmed; et al, 2014

Estima-se que para cada tonelada de óleo de palma são gerados 3,05 toneladas de POME. Em 2015 foram relatados a produção de 94 milhões de toneladas do efluente na Indonésia (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011). A evolução na produção mundial de POME, bem como de óleo de palma podem ser visualizadas na Figura 5. O método comumente utilizado para o tratamento do POME são os tanques abertos, porém o tempo necessário para a degradação do substrato e a dificuldade de controle operacional mostra a necessidade de alternativas (JI, EONG, TI, SENG, & LING, 2013). Uma opção de tratamento que vem sendo utilizada é a digestão anaeróbia, processo de degradação da matéria

orgânica em ambiente sem oxigênio, produzindo metano e gás carbônico (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011).

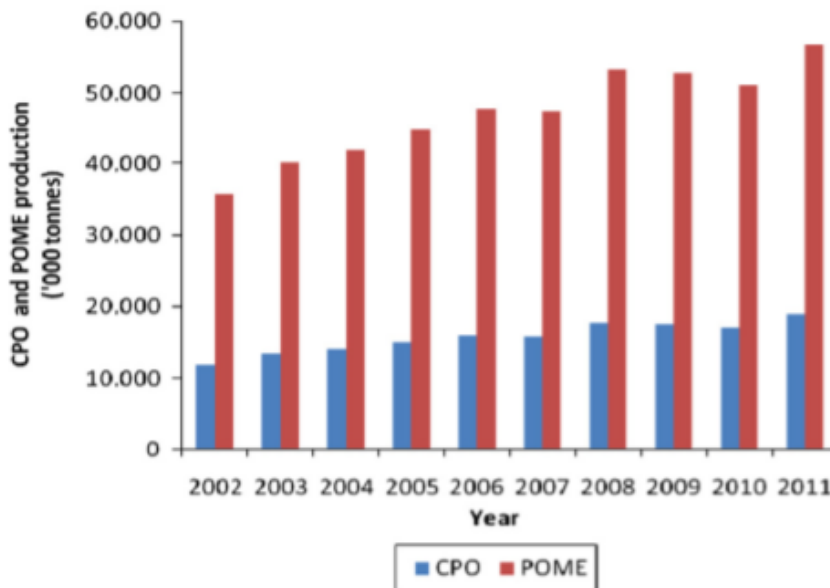


Figura 5- Produção de POME e óleo de palma

Fonte: Ji; et al, 2013

O tratamento do POME com alta carga orgânica apresenta maior capacidade de recuperação de energia, mostrando-se como uma fonte de energia renovável abundante (CHOU, CHOONG, & NORLli, 2018). Além disso, o lodo utilizado no processo pode ser utilizado posteriormente como fertilizante no plantio da palma de óleo (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011). No fim do processo observa-se um produto com DQO reduzida e uma grande quantidade de biogás produzido que pode ser futuramente utilizado como energia térmica e elétrica (CHOU, CHOONG, & NORLli, 2018).

Estima-se que uma tonelada de POME seja capaz de gerar aproximadamente 12,3 Kg de metano quando estabilizado em tanques anaeróbios, métodos como lagoas de tratamento cobertas também apresentaram resultados positivos, além de vantagens como captura total do biogás produzido e prevenção de emissão de gases para a atmosfera (CHOU, CHOONG, & NORLli, 2018).

Estudos mostraram que a digestão anaeróbia em reatores apresentou produtos finais estabilizados e geraram 0,23 Kg de CH₄ por kg de matéria orgânica removida, enquanto as lagoas cobertas geraram 0,16 Kg de CH₄ (CHOU, CHOONG, & NORLli, 2018). O tratamento apresentado resultou num biogás contendo 54% de metano em sua composição (JI, EONG, TI, SENG, & LING, 2013). Energeticamente foi observado que 56,7 m³ de POME

geraram 500 Kt de metano, o que equivale a quase 800 milhões de litros de diesel ou 3,2 MWh de energia elétrica (JI, EONG, TI, SENG, & LING, 2013).

2.4. DIGESTÃO ANAERÓBIA

Digestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica em biogás em um ambiente livre de oxigênio (LIMA, 2015). Esse processo ocorre na presença de bactérias anaeróbias, anaeróbias facultativas e arqueas metanogênicas (DAMASCENO, 2013) que estabelecem uma relação de simbiose onde cada uma exerce uma função de extrema importância para a formação do produto final. O gás formado apresenta em sua maioria metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), e em porcentagens menores também são formados amônia (NH_3) e sulfeto de hidrogênio (H_2S) (Metcalf & Eddy 2013 apud (DAMASCENO, 2013).

Este processo é utilizado mundialmente desde a década de 50 como forma de tratamento de efluentes e fonte alternativa de energia. No Brasil essa forma de tratamento de efluentes ganhou força nos anos 90 juntamente com a necessidade de um desenvolvimento sustentável, como novo recurso para produção energética (MONTEIRO, 2015). Este tratamento apresenta diversas vantagens, tais como a baixa geração de biomassa residual (lodo de excesso) (EDWIGES, 2017), baixo consumo energético e geração de um gás com alto poder calorífico (MONTEIRO, 2015) que pode ser utilizado como combustível (DAMASCENO, 2013), sendo muito vantajoso para estabilização (MONTEIRO, 2015).

O processo de biológico anaeróbio de transformação da matéria orgânica a biogás ocorre em quatro estágios distintos: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, como exemplificado na Figura 6 (DAMASCENO, 2013).

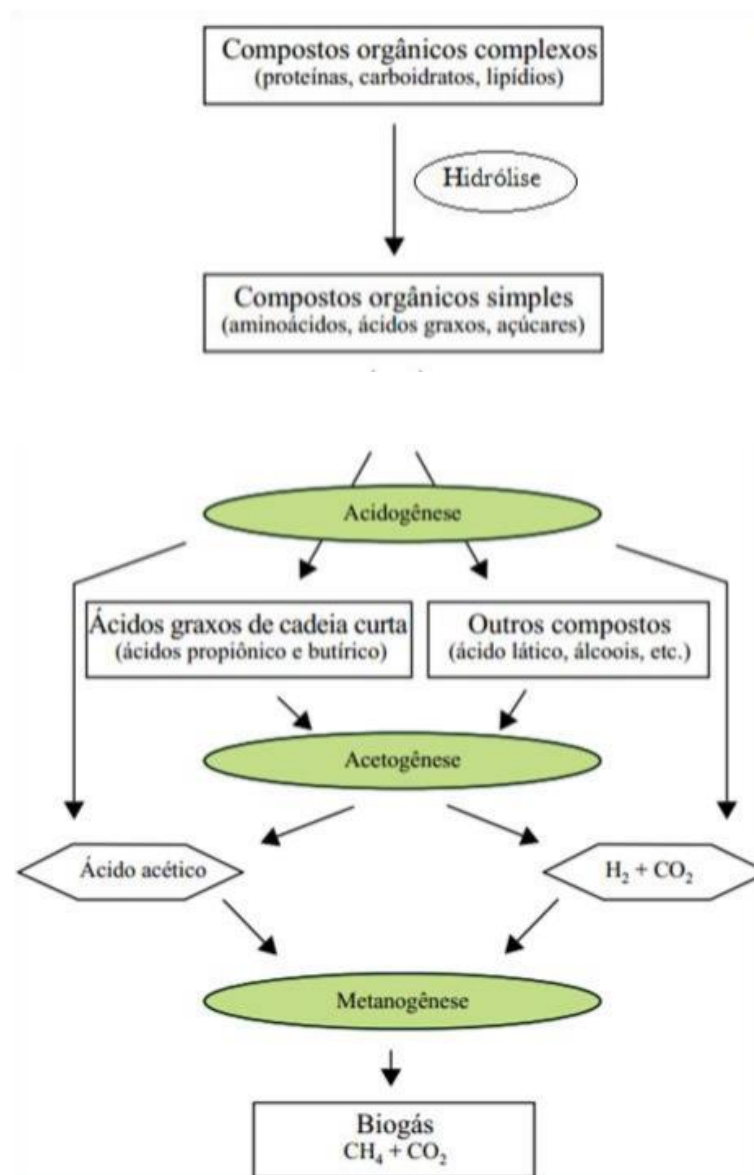


Figura 6-Processo de digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de Rohstoffe, Paterson e Kuhn (2010)

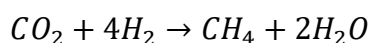
A primeira etapa da digestão anaeróbia é a hidrólise. Esta fase ocorre em ambiente com reduzida quantidade de oxigênio livre. Dessa forma, as bactérias atuantes são anaeróbias facultativas que irão transformar compostos como lipídeos, carboidratos e proteínas em moléculas menores como ácidos graxos, açúcares e aminoácidos (LIMA, 2015). Sendo esses compostos os utilizados pelas bactérias anaeróbias na próxima etapa (MONTEIRO, 2015). Esta etapa da digestão anaeróbia tende a ser lenta e passível de sofrer influência de fatores como temperatura, pH, quantidade de ácidos voláteis, tempo de retenção do substrato, entre outros (PAINI, 2017).

Na etapa da acidogênese atuam bactérias fermentativas anaeróbias, em sua maioria, e anaeróbias facultativas (MONTEIRO, 2015) formando produtos de menor peso molecular,

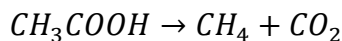
tais como ácidos graxos voláteis, dióxido de carbono, hidrogênio e álcoois. O pH é reduzido nesta etapa (PAINI, 2017) e é importante ressaltar que apesar da matéria orgânica ainda não ter sido totalmente estabilizada, esta etapa fornece energia aos microrganismos para as etapas seguintes do processo de transformação da matéria orgânica à biogás (DAMASCENO, 2013).

As bactérias acetogênicas são o principal grupo de microrganismos que atuam na acetogênese. Elas transformam os compostos formados nas etapas anteriores em hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Nesta etapa é de suma importância que a pressão parcial do hidrogênio seja controlada, uma vez que a alta concentração de H₂ impede a formação do acetato (EDWIGES, 2017) e resulta no acúmulo de matéria orgânica que dificulta a formação do metano. Dessa forma, é importante a associação das bactérias acetogênicas com as arqueas metanogênicas, já que a última irá consumir o H₂ e CO₂ para a formação do produto final (LIMA, 2015).

As arqueas metanogênicas são responsáveis pela produção do metano, produto final do processo de digestão anaeróbia (LIMA, 2015), na etapa da metanogênese. Nesta etapa ocorre a estabilização da matéria orgânica (DAMASCENO, 2013). Esses microrganismos são anaeróbios restritos e apresentam duas vias de obtenção do CH₄, uma pelo consumo do ácido acético (arqueas metanogênicas acetoclásticas) e outra a partir do hidrogênio e dióxido de carbono (arqueas metanogênicas hidrogenotróficas) (MONTEIRO, 2015). Na via hidrogenotrófica o gás carbônico é reduzido enquanto o H₂ é oxidado fornecendo os elétrons para a reação (EDWIGES, 2017), tendo por fim a formação do metano e água (MONTEIRO, 2015).



Na via acetoclástica, o metano é formado a partir da redução do metil presente no ácido acético enquanto o grupo acoplado à molécula é oxidado formando o gás carbônico (MONTEIRO, 2015).



As arqueas metanogênicas possuem um crescimento menor comparado aos outros microrganismos do processo (LIMA, 2015), além disso, é importante frisar que o sucesso do processo de digestão anaeróbia não depende apenas dos microrganismos atuantes, mas também os biodigestores, o inoculo e o substrato utilizado interferem no tempo de reação e no sucesso final do produto (EDWIGES, 2017).

2.5. REATOR UASB

O Reator Anaeróbico de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente também conhecido como reator UASB, do inglês *upflow anaerobic sludge blanket* consiste de um tanque vertical, no qual o efluente entra pela parte inferior e prossegue em fluxo ascendente até a parte superior do sistema, atravessando três estágios: o leito de lodo, onde há grande concentração de biomassa ativa, que se apresenta na forma floculada ou granulada; em seguida, passa por uma camada de biomassa menos densa, denominada manta de lodo; e finalmente, por um separador trifásico, onde ocorre a separação dos sólidos em suspensão (lodo) do biogás formado no tratamento (CHERNICHARO, 1997).

A presença de um fluxo hidráulico isenta a necessidade de um misturador. O lodo utilizado como inoculo é decantado e o biogás é liberado da biomassa. Possui alta capacidade volumétrica com grande retenção de biomassa e baixo tempo de retenção hidráulica, devendo assegurar um contato pleno entre o lodo e a matéria orgânica, ter a menor quantidade possível de curtos circuitos hidráulicos e uma separação satisfatória de lodo, biogás, sólidos e líquidos (DAMASCENO, 2013).

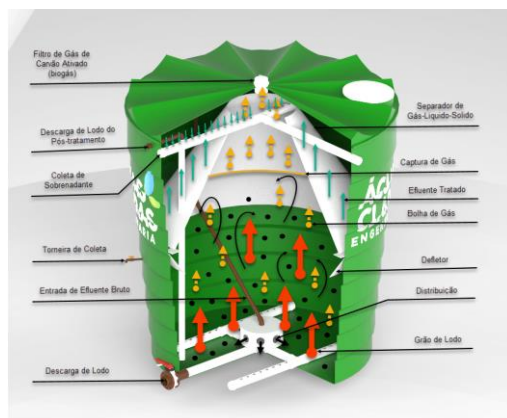


Figura 7- Reator UASB

Fonte: Águas Claras Engenharia

Este equipamento apresenta um aumento na produção do biogás com o aumento de inserção de matéria orgânica e decréscimo do *washout* da biomassa (TANIKKUL, PHALAKORNKULE, CHAMPREDA, & PISUTPAISAL, 2016). O digestor é conhecido pela grande diminuição da DQO da matéria orgânica utilizada, chegando a uma redução superior a 90%, taxa encontrada nos primeiros dias do tempo de retenção hidráulica. A produção média metano é de 722 ml/L quando adicionados 2g de matéria orgânica/L. Apesar de ser um digestor muito estável, o controle da carga orgânica inserida é essencial, uma vez

que a quantidade exagerada acarreta na formação dos ácidos voláteis e consequente decréscimo na produção do CH₄ (FANG, O-THONG, BOE, & ANGELIDAKLI, 2011).

O reator UASB não possui uma boa atuação quando a quantidade de sólidos suspensas presente no substrato é alta (BORJA, BANKS, & SÁNCHEZ, 1995). Esses podem portar lipídeos que se concentram na camada do lodo flotado, além de influenciar negativamente no processo da digestão anaeróbia (PEREIRA-RAMIREZ, ABIB, & KOETZ, 2000). Estudos buscaram mostrar como a adaptação das condições submetidas ao reator ou separação das reações em estágios da digestão podem apresentar resultados satisfatórios (BORJA, BANKS, & SÁNCHEZ, 1995).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo analisar a etapa de *start-up* do processo de digestão anaeróbia, na redução da carga orgânica do POME (*Palm Oil Mill Effluent*) sob diferentes proporções de inoculo.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização do POME;
- Aclimatização do inoculo;
- Digestão do POME com diferentes porcentagens de efluente e inoculo;
- Biodigestão em reator anaeróbio;
- Biodigestão em fermentador;
- Biodigestão em frasco de 5 litros.

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.1.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO é uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica biodegradável presente numa amostra detectada pela quantidade de oxigênio consumido na respiração aeróbia dos microrganismos presentes no meio. As bactérias presentes consomem o oxigênio dissolvido e degradam a matéria orgânica existente enquanto realizam o processo de respiração (BERTOLAMI, 2017). É um teste de duração de 5 dias com temperatura constante de 20°C. Para um melhor desempenho dos organismos presentes é necessário apresentar um ambiente favorável, com nutrientes necessários para a proliferação do meio consumidor (VALENTE, PADILHA, & SILVA, 1997).

As análises da DBO do efl uente foram realizadas segundo o método descrito em APHA (2013), utilizando o procedimento padrão sem semente. Análises foram realizadas no Instituto de Química da UnB.

4.1.2. Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) é um método indireto para quantificação da matéria orgânica presente no efluente. A DQO apresenta resultados mediante dois métodos: titulométrico e colorimétrico, sendo o primeiro aconselhável para amostras turvas e o segundo para amostras diluídas (de AQUINO, SILVA, & CHERNICHARO, 2006). Essa análise é de suma importância para a determinação da capacidade de poluição dos efluentes e seus impactos. O agente oxidante mais utilizado é o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), pois é seu custo é baixo, apresenta boa estabilidade em solução e estado sólido e um poder oxidante elevado (ZUCCARI, GRANER, & LEOPOLDO, 2005). A amostra é colocada em um bloco de aquecimento a 150°C durante 2 horas, para que ocorra a digestão da amostra. O resultado final é obtido pela da leitura da absorbância da amostra segundo a Lei de Beer.

O efluente foi diluído 200 vezes para a determinação da DQO, que foi realizada de acordo com procedimento descrito em APHA (2005). Análises foram realizadas no Instituto de Química da UnB.

4.1.3. Carbono Orgânico Total

O procedimento de carbono orgânico total (COT) analisa toda a fração orgânica presente numa amostra (BENEDETTI, 2012). A amostra é inserida no aparelho e oxidada na presença de luz ultravioleta, o gás carbônico presente é separado por uma membrana e quantificado, resultando na fração de carbono inorgânico. A presença de catalisadores e altas temperaturas permitem que seja determinada a quantidade de carbono total. Por fim, é feita a diferença entre o carbono total e a parcela de carbono inorgânico, revelando a quantidade de carbono orgânico total presente na amostra (COUTO, 2018).

A amostra de POME foi filtrada em papel de filtro de filtração rápida e em seguida diluída 200 vezes. Alíquotas de 15 ml foram tomadas e levadas ao analisador de carbono orgânico total. Análise realizada no Instituto de Química da UnB.

4.1.4. Nitrogênio Total

A determinação do nitrogênio total (NT) foi realizada utilizando-se um analisador de nitrogênio modelo TNM-1 Shimadzu. O monóxido de nitrogênio foi determinado pelo método de quimiluminescência e as medições podiam ser efetuadas na faixa de 0,1 a 4000 mg/L.

A amostra de POME foi filtrada em papel de filtro de filtração rápida e em seguida diluída 200 vezes. Alíquotas de 15 ml foram tomadas e levadas ao analisador.

4.1.5. Sólidos Totais Fixos e Voláteis

Sabe-se que as águas residuais de processos industriais possuem alto poder poluente e contaminante devido à quantidade de particulados presentes, sendo sólidos aglomerados, sais, nutrientes e substâncias orgânicas. Estas águas, ao entrarem em contato com “águas limpas” podem impedir a entrada de luz nos cursos, interferem no aquecimento e podem diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido. Para efetuar o controle de tais parâmetros é feita a análise de sólidos totais presentes na amostra líquida (LOUGON, ROCHA, GUIMARÃES, LOUZADA, & GARCIA, 2011).

Um volume igual a 15 ml de POME foram adicionados a um cadinho devidamente lavado, calcinado e pesado, em seguida a amostra foi colocada em uma estufa a 105° C, *overnight* para que a umidade presente fosse retirada. Após o cadinho atingir temperatura ambiente o mesmo foi pesado. Posteriormente, a amostra foi colocada em uma mufla a 550° por 30 minutos para que a matéria orgânica presente também fosse retirada, restando apenas a parte inorgânica da amostra, que também foi pesada após resfriada. Experimento realizado no Instituto de Química da Unb. As análises foram feitas em triplicata e os resultados foram obtidos seguindo as equações abaixo (APHA, 2005).

Sólidos totais

$$Sólidos\ Totais = \left(\frac{m_{estufa} - m_{cadinho}}{V_{add}} \right) \times 10^6$$

m_{estufa} = massa cadinho+amostra pós estufa

$m_{cadinho}$ = massa do cadinho

V_{add} = volume de amostra adicionado

Sólidos fixos:

$$Sólidos\ Fixos = \left(\frac{m_{mufla} - m_{estufa}}{V_{add}} \right) \times 10^6$$

m_{mufla} = massa do cadinho+amostra pós mufla

4.1.6. Aclimatização do Inoculo

A propagação do inoculo foi necessária, uma vez o digestor anaeróbio precisa de 3 litros de inoculo para realizar o processo com o POME, sendo que estavam disponíveis apenas 100 ml. Tanto o POME quanto o inoculo foram cedidos pela empresa DENPASA S/A (JÚNIOR, 2018).

A propagação foi realizada colocando-se volumes iguais de inoculo e POME (Figuras 8 e 9), em estufas a 32°C durante 3 dias. Ao final do 3° dia, o processo era repetido, resultando no dobro do volume anterior. Essa etapa teve a duração de 15 dias, resultando num volume de 6 litros de inoculo. Aclimatização ocorreu na Embrapa Agroenergia.



Figura 8- POME



Figura 9- Inoculo

4.1.7. Início do processo de Digestão Anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é caracterizado como a formação de biogás, principalmente metano e biofertilizante (efluente após tratamento – digestato) em um ambiente que não contenha oxigênio quando a matéria orgânica está sendo degradada (DAMASCENO, 2013).

O processo de *start up* (início da operação da digestão anaeróbia) foi realizado em três ambientes distintos com três diferentes proporções de inoculo e efluente.

O reator UASB composto por um tanque onde o substrato utilizado para a produção de biogás é armazenado, um tanque de capacitação de gás, recipiente com água que possui uma cápsula móvel que irá subir à medida que a pressão do gás gerado for aumentando, bombas de fluidização e alimentação, detectores de gás e por fim o biodigestor, que pode ou não ser encamisado, onde ocorrerá de fato a produção do biogás e onde estarão os sensores de pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade (CARVALHO, 2015).

Nesse digestor, de capacidade de 10 litros (Figura 10) utilizou-se inicialmente a proporção 70% POME (efluente) e 30% de inoculo, adicionando-se 8 litros da mistura, sendo 5,6 L de POME e 2,4 L de inoculo. A digestão ocorreu durante 13 dias, sendo que a temperatura e pH foram aferidos diariamente. Após o período estipulado, o processo foi paralisado, o inoculo foi separado do lodo via sedimentação. Depois da retirada de alíquotas

para determinações analíticas, o sobrenadante foi descartado e o lodo foi novamente inserido no reator para uma segunda partida.



Figura 10- Reator UASB utilizado

Após vazamento no reator UASB, a partida da digestão anaeróbia se deu num fermentador de capacidade de 5 litros, submetido à agitação de 150 rpm, durante 10 dias, alterando a proporção para 50% efluente e 50% lodo. Procedimentos operacionais foram os mesmos utilizados ao processo de início de operação utilizando-se reator UASB.



Figura 11- Reator UASB utilizado

Por fim, foi dada a partida do processo de digestão anaeróbia em frasco de vidro de 5 litros, contendo uma saída para coleta de gás. Nesta etapa, a condição inicial para a partida foi de 30% de efluente e 70% de inóculo. O experimento teve duração de 9 dias. Todos os processos ocorreram na Embrapa Agroenergia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Os resultados da análise de demanda química de oxigênio foram apresentados na Tabela 1.

Tabela 2- Resultados das análises de DQO e redução de DQO obtida

	POME	Reator UASB	Fermentador	Frasco de Vidro
DQO (mg/L)	114092±7321	24797±502	7037±203	10607±582
Redução de DQO (%)	-	78	94	91

e = efluente / i = inoculo

Foi possível observar que a maior redução de carga orgânica ocorre quando a quantidade de inoculo e efluente adicionados são iguais, livre da entrada de oxigênio, seguida pela redução apresentada pela proporção de 30% de POME e 70% de lodo com digestão em um frasco reagente de 5 litros. Tais resultados foram esperados, uma vez que o reator UASB, local onde ocorreu a digestão anaeróbia do processo 70/30 apresentou vazamento.

Estudos apresentaram resultados semelhantes de redução da demanda química de oxigênio, como por exemplo, Fang e colaboradores (2011) onde a porcentagem de redução da carga orgânica foi de 96,5% com um tempo de retenção de 10 dias com a proporção de 50% POME/inoculo, porém ocorrendo em um digestor UASB. O experimento mostrou a vantagem deste reator quando comparado a outro, sendo esse mais fácil de operar, com resultados satisfatórios para produção em pequena escala. Já Schultz, Pinheiro & da Silva (2018) encontraram remoções maiores que 90% em temperatura de 35°C, próxima da utilizado neste trabalho.

Além disso, Ahmed e colaboradores (2014) ressaltam a grande vantagem do uso deste equipamento, a formação do lodo granular que se apresenta como um sistema de remoção de poluentes tais como carbono, nitrogênio e fósforo. Foi observada também a capacidade do reator de tratar diferentes efluentes contendo grande quantidade de sólidos suspensos, sendo indicado para produção de metano em altas proporções. As taxas de

remoção de DQO foram superiores a 96%, sendo constatado que um tempo de retenção muito alto prejudica a remoção da carga orgânica uma vez que ácidos voláteis são formados aumentando a concentração de bactérias acidogênicas e diminuindo a concentração de bactérias metanogênicas.

Os resultados condisseram com o esperado, já que a remoção de DQO é maior quando se tem mais microorganismos capazes de degradar a matéria orgânica, assim deveria ser menor no processo do reator UASB, seguido pelo fermentador e maior no frasco de vidro, porém a presença na agitação no fermentador aumentou o contato entre efluente e lodo resultando na maior redução de DQO.

5.2. SÓLIDOS TOTAIS

Tabela 3- Análise de sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos

	POME	Reator UASB	Fermentador	Frasco de Vidro
Sólidos Totais (mg/L)	41002±183	27333±1333	24666±667	22999±333
Sólidos Voláteis (mg/L)	30913±60	17999±667	15999±333	14999±333
Sólidos Fixos (mg/L)	10089±149	9334±667	8667±667	8000±333

Tabela 4- Porcentagem de sólidos fixos e sólidos voláteis removidos após tratamento

Proporção efluente/inoculo	Porcentagem de sólidos voláteis (%)	Porcentagem de sólidos fixos (%)
70/30	66	34
50/50	65	35
30/70	65	35

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram a redução dos sólidos presentes antes (POME) e depois do processo de digestão anaeróbia. Observou-se a quantidade de sólidos decaía à medida que a concentração de efluente diminuía.

Nos três casos após a digestão anaeróbia a porcentagem de sólidos voláteis foi maior, como aponta a tabela 4, que a de sólidos fixos, isso indica que a maior parte dos sólidos removidos era de matéria orgânica, corroborando para os valores obtidos de redução de DQO. Os valores nas três bateladas foram próximos devido a análise do liquor misto, ou seja, o lodo não foi decantado e havia a mesma quantidade de sólidos nas amostras coletadas para análise. Já a concentração de sólidos suspensos fixos apresentou um decaimento muito baixo entre o POME, 10086,66 mg/L, e as análises pós digestão, já a diferença entre as 3 proporções de efluente e lodo foram quase nula.

Júnior (2018) encontrou valores de 33983 g/ml (em média) de sólidos suspensos voláteis para o tratamento contendo 30% de inóculo e 70% de POME.

Já Nabarlantz, Arenas-Beltrán, Soracá, & Niño-Bonilla (2013) em seus estudos de produção de biogás a partir do POME obteve uma redução de sólidos voláteis de 13,42% quando as porcentagens de lodo e POME foram de 50%, durante 20 dias de digestão anaeróbia. A redução de sólidos apresentada no trabalho com essa mesma porcentagem foi próxima de 40%, sendo que o tempo de retenção foi de 10 dias.

5.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

As análises de demanda bioquímica de oxigênio para o POME bruto e para a amostra contendo 70% de efluente, sendo que essa redução apresentou melhores resultados na literatura (JÚNIOR, 2018). O procedimento de DBO ocorre durante cinco dias e as bateladas de digestão anaeróbia não foram feitas simultaneamente, tal fato acarretou na necessidade de se realizar apenas uma análise da amostra após passagem pelo reator.

Observou-se um decréscimo da DBO do efluente, 29800 mg/L para a amostra com 30% de inóculo, 11000 mg/L, a redução foi de 63,08% . Ugoji (1996) encontrou valores de POME bruto entre 25000 e 35000 mg/L. A DBO do POME após tratamento em tanque de digestão anaeróbio foi de 720 mg/L, apesar do valor diferente é importante ressaltar que o experimento não foi feito na mesma proporção que o utilizado neste trabalho e o método do digestão foi diferente. Schultz, Pinheiro & da Silva (2018) encontrou uma remoção de DBO de 84% a 35°C.

Sabe-se que o procedimento de DBO está pautado na quebra da matéria orgânica a partir da ação de bactéria, onde apenas a fração biodegradável é oxidada, ou seja, é medida. Sendo assim, esta análise combinada com a demanda química de oxigênio (DQO) são os principais parâmetros que determinam a capacidade poluidora de um efluente (MARTINS & CORRÊA, 2014). Um medidor muito importante é a relação DQO/DBO, que determina o quanto a matéria pode ser biodegradável, o caso em estudo apresentou uma razão DQO/DBO igual a 1,2 este valor indica que os compostos presentes na matéria são biodegradáveis.

5.4. CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Tabela 5- Resultados de COT, nitrogênio total e razão C/N

	Reator UASB	Fermentador	Frasco de Vidro
COT (mg/L)	9020	7036	6634
NT (mg/L)	191	185	182
C/N	47	38	36

Além das análises de DBO e DQO, outro procedimento que aponta o potencial de biodegradabilidade de uma matéria é o método de Carbono Orgânico Total. Ele consiste na oxidação do carbono orgânico resultando em dióxido de carbono, sendo este detectado no equipamento, o método apresenta vantagens por ser mais simples, não necessita de uma quantidade abundante de amostra e pode indicar se a matéria tratada é propensa à produção de metano e, possivelmente, de biogás.

Na tabela 5 foram apresentados os resultados obtidos. Pôde-se observar que houve um decaimento no valor do COT do efluente, o POME bruto apresentou COT de 10138 mg/L, para a matéria após o processo de digestão. Isso era esperado, uma vez que deveria existir mais carbono orgânico onde a redução de DQO foi menor.

Outra análise feita simultaneamente com a de carbono foi Nitrogênio Total, sendo que foram feitas as determinações de NT apenas para a matéria digerida, porém, na literatura (POH, YONG, & CHONG, 2010) foram encontrados valores para o POME bruto de 200

mg/L de nitrogênio total. Observou-se que os valores do material pós-digestão são menores que o do POME, porém muito próximos quando comparados entre si.

Por fim, uma vez obtendo-se o carbono e nitrogênio total tem-se a relação C/N que pode indicar se a matéria a ser degradada sofrerá um processo mais lento ou mais rápido. Nurliyana, et al., (2015) encontrou, para o efluente utilizado pós processo de co-digestão, um resultado de relação C/N igual a 45, valores acima de 35 indicam uma degradação lenta, dessa forma, é possível inferir que o POME, apesar de ser uma matéria com alto potencial biodegradável, passa por um processo lento de degradação.

6. CONCLUSÃO

Os experimentos realizados buscavam mostrar a eficiência da digestão anaeróbia como forma de tratamento do resíduo gerado a partir da produção do óleo de palma. O início de operação do processo de digestão anaeróbia é de suma importância para o êxito do tratamento anaeróbio.

Análises de DQO, COT e sólidos seriam feitas para monitoramento. No entanto, o reator UASB disponível apresentou vazamento de ar em uma das saídas de seus sensores e a bomba acoplada também apresentou vazamento de líquido, em seguida a digestão passou a ocorrer em um fermentador com capacidade de 5 litros e por fim a digestão ocorreu em um frasco de vidro de 5 litros.

A redução da DQO foi satisfatória nos três casos apresentados, principalmente quando a proporção de efluente e inóculo eram iguais atingindo um valor de 93,83%, processo que ocorreu no fermentador com agitação de 150 rpm, valor condizente com os encontrados na literatura. O resultado da DBO do efluente também mostrou a grande redução da matéria orgânica e a razão DQO/DBO indica que a maior parte da matéria presente é biodegradável.

Os resultados de sólidos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis mostraram que após digestão a quantidade de matéria sólida reduziu consideravelmente, além disso, os três casos apresentaram uma porcentagem muito maior de sólidos voláteis, indicando que a matéria presente de fato é biodegradável.

O procedimento de carbono orgânico total e nitrogênio total foram úteis para ratificar as análises anteriores e comprovar a redução da matéria orgânica, além indicar a partir da razão C/N que a degradação do efluente ocorrerá de forma lenta.

Desta forma, conclui-se que o processo de partida de digestão anaeróbia foi satisfatório, ocorrendo em tempo menor do que o estimado. A presença de bactérias anaeróbias facultativas permitiu que a digestão continuasse ocorrendo mesmo na presença de ar atmosférico. Foi comprovado que a matéria orgânica foi removida. A digestão anaeróbia apresenta-se como método eficiente para o tratamento do resíduo do óleo de palma.

7. PERSPECTIVAS

- Realizar o procedimento de digestão do POME com lodo da DENPASA para produção de metano e obtenção de biogás;
- Utilizar o reator UASB para todas as bateladas de produção de biogás;
- Utilizar diferentes a condições no reator UASB, através de um planejamento experimental;
- Realizar medições de metano em relação a volume e concentração.

8. REFERÊNCIA

- ABRAPALMA. (2015). Acesso em 30 de outubro de 2019, disponível em Abrapalma: <http://www.abrapalma.org/pt/sobre-o-fruto-de-palma/>
- Águas Claras Engenharia. (2012). *Águas Claras Engenharia*. Acesso em 25 de Janeiro de 2019, disponível em REATOR UASB: SAIBA O QUE É E COMO FUNCIONA: <https://aguasclarasengenharia.com.br/como-funciona-reator-uasb/>
- AHMED, Y., YAAKOB, Z., AKHTAR, P., & SOPIAN, K. (2014). Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *El Sevier*, 1260-1278.
- APHA, A. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. New York.
- BALLESTERO, M., ARROYO, V., & MEJÍA, A. (2015). *Agua potable y saneamiento para todos*. In:4.
- BENEDETTI, t. (2012). Mestrado. *Avaliação do teor de carbono orgânico total na qualidade da água: aplicação na radiofarmácia*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- BERTOLAMI, G. K. (2017). *A técnica de Demanda Bioquímica de Oxigênio e o kit rápido da MachereyNagel NANOCOLOR® BOD5-TT*. São Paulo: Carvalhaes.
- BORJA, R., BANKS, C. J., & SÁNCHEZ, E. (1995). Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) system. *El Sevier*, 125-135.
- BRASIL. (17 de Março de 2005). BRASIL. *Resolução CONAMA n° 257*.
- Brasil, Hanna instruments. (7 de Maio de 2018). *Guia Completo para Testes de DQO*. Acesso em 30 de outubro de 2019, disponível em Hanna instruments: <https://hannainst.com.br/dicas-dos-especialistas/guia-completo-para-testes-de-dqo/>
- CARVALHO, F. B. (2015). *Instrução de Uso do Biodigestor*. Acesso em 12 de novembro de 2019, disponível em Embrapa Agroenergia.
- CHERNICHARO, C. d. (1997). *Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte: UFMG.
- CHOU, K. W., CHOONG, Y. Y., & NORLI, I. (2018). Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: a critical review. *El Sevier*, 2993-3006.
- CIMM. (2005). *Efluentes Industriais*. Acesso em 4 de Fevereiro de 2020, disponível em CIMM: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais#.XjjY3mhKjIU
- COLONESE, N. (2016). *O que são efluentes e por que é essencial tratá-los?* Acesso em 4 de Fevereiro de 2020, disponível em Fluxo: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/quimica-alimentos/efluentes-o-que-sao-como-tratar/>
- COUTO, R. M. (5 de Julho de 2018). *A análise de carbono orgânico total (TOC) na indústria farmacêutica*. Acesso em 3 de novembro de 2019, disponível em labnetwork: <https://www.labnetwork.com.br/noticias/a-analise-de-carbono-organico-total-toc-na-industria-farmaceutica/>
- da SILVA, C. L., FUGII, G., & SANTOYO, A. H. (2017). Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. *Revisra Brasileira de Gestão Urbana*, 276-292.

- DAMASCENO, F. R. (2013). Doutorado. *Aplicação de Preparado Enzimático e Biossulfartante no Tratamento Anaeróbio de Efluentes com Alto Teor de Gordura*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- de AQUINO, S. F., SILVA, S. d., & CHERNICHARO, C. A. (2006). *Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios*. Rio de Janeiro.
- eCycle. (2010). *Azeite de dendê, também chamado de óleo de palma, tem diversas aplicações*. Acesso em 23 de Janeiro de 2020, disponível em eCycle: <https://www.ecycle.com.br/2659-azeite-de-dende-oleo-de-palma>
- EDWIGES, T. (Agosto de 2017). Doutorado. *Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Vegetais Provenientes de Central de Abastecimento*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavél.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018). *Matriz Energética e Elétrica*. Acesso em 24 de Janeiro de 2020, disponível em Empresa de Pesquisa Energética: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
- Enström, A., Haatainen, T., Suharto, A., Giebels, M., & Lee, K. (2019). Introducing a new GHG emission calculation approach for alternative methane reduction measures in the wastewater treatment of a palm oil mill. *Environment, Development and Sustainability*, 3065-3076.
- FANG, C., O-THONG, S., BOE, K., & ANGELIDAKLI, I. (2011). Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled Palm Oil Mill Effluent (POME). *El Sevier*, 229-234.
- JI, C. M., EONG, P. P., TI, T. B., SENG, C. E., & LING, C. K. (2013). Biogas from palm oil mill effluent (POME): opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *El Sevier*, 717-726.
- Junior, A. B., Zanta, V. M., Lange, L. C., Gomes, L. P., & Pessin, N. (2003). *Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades*. Florianópolis: RiMa artes e textos.
- JÚNIOR, J. F. (2018). Doutorado. *Produção de biogás a partir do efluente da extração do óleo de palma (POME)*. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- LIMA, M. d. (Dezembro de 2015). Mestrado. *Produção de biogás a partir do lodo de esgoto em condições mesofílicas e termofílicas*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LOUGON, M. S., ROCHA, S. A., GUIMARÃES, H. F., LOUZADA, F. L., & GARCIA, G. d. (2011). *CARACTERIZAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS NAS ÁGUAS*. Jerônimo Monteiro: Universidade do Vale do Paraíba.
- M. &. (2013). *Wastewater engineering : treatment and reuse*. Boston: McGraw-Hill.
- MARINHO, A. (2016). *Biogás: uso de dejetos do beneficiamento do dendê*. Acesso em 21 de Janeiro de 2019, disponível em Canal Bioenergia: <https://www.canalbioenergia.com.br/biogas-uso-de-dejetos-do-beneficiamento-do-dende/>
- MARTINS, B. d., & CORRÊA, K. T. (2014). Trabalho de conclusão de curso. *DESEMPENHO DE UM REATOR ANAERÓBIO OPERADO EM BATELADA SEQUENCIAL PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA*. Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- MONTEIRO, M. R. (2015). Mestrado. *PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA E LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- n°12.305, L. (2 de Agosto de 2010). Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*.

- NABARLATZ, D.-A., ARENAS-BELTRÁN, L.-P., SORACÁ, D.-M. H., & NIÑO-BONILLA, D.-A. (2013). BIOGAS PRODUCTION BY ANAEROBIC DIGESTION OF WASTEWATER FROM PALM OIL MILL INDUSTRY. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 73-84.
- NOYOLA, A. (2012). Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean- Soil, Air, Water*, 926-932.
- Nurliyana, M., H'ng, P., Rasmina, H., UmiKalsom, M., Chin, K., Lee, S., et al. (2015). Effect of C/N ratio in methane productivity and biodegradability during facultative co-digestion of palm oil mill effluent and empty fruit bunch. *ELSevier*, 409-415.
- PAINI, V. (2017). Trabalho de Conclusão de Curso. *GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA DO RAMO DE CANDIES*. Universidade do Vale do Taquari, Lajeado.
- Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. (2018). São Paulo: Abrelpe.
- PEREIRA-RAMIREZ, O., ABIB, E. N., & KOETZ, P. R. (2000). AVALIAÇÃO DE UM REATOR UASB PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE ARROZ. *Revista Brasileira de Agrociência*, 115-119.
- POH, P. E., YONG, W.-J., & CHONG, M. F. (2010). Palm Oil Mill Effluent (POME) Characteristic in High Crop Season and the Applicability of High-Rate Anaerobic Bioreactors for the Treatment of POME. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 11732-11740.
- Saad, S., Wahab, N. r., & Mahat, N. A. (2014). *Energy Smart*. Seri Kembangan: Ptm Malaysia Energy Center.
- SABESP. (1997). *Norma Técnica Interna SABESP- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio*. São Paulo: SABESP.
- Schultz, J., Pinheiro, A., & Da Silva, J. D. (2018). Tratabilidade do lodo biológico têxtil e produção de biogás em reator UASB em diferentes temperaturas . *Eng Sanit Ambient*, 151-158.
- SIQUEIRA. (2008). *Digestão Anaeróbia*.
- TANIKKUL, P., PHALAKORNKULE, C., CHAMPREDA, V., & PISUTPAISAL, N. (2016). Comparative Granular Characteristics of Mesophilic and Thermophilic UASB Producing Biogas from Palm Oil Mill Effluent. *Chemical Engineering Transactions*, 205-210.
- UGOJI, E. O. (1996). Anaerobic digestion of palm oil mill effluent and its utilization as fertilizer for environmental protection. *Pergamon*, 291-294.
- VALENTE, J. P., PADILHA, P. M., & SILVA, A. M. (1997). *Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP*. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- WANTUIL, S. (Julho de 2016). Óleo de Palma: os impactos provocados nomeio ambiente e os desafios de uma produção sustentável. *Óleo de Palma: os impactos provocados nomeio ambiente e os desafios de uma produção sustentável*. PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
- ZUCCARI, M. L., GRANER, C. A., & LEOPOLDO, P. R. (2005). Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método colorimétrico alternativo. *ENERGIA NA AGRICULTURA*, 69-82.