

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANDRESSA SANCHES COSO
STEFANI FLORES NEHLS

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA MADEIREIRA
UTILIZANDO REATOR ANAERÓBIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

ANDRESSA SANCHES COSO

STEFANI FLORES NEHLS

**ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA MADEIREIRA
UTILIZANDO REATOR ANAERÓBIO**

**STUDY OF WOOD INDUSTRY EFFLUENT TREATMENT USING ACTIVATED
SLUDGE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli

Coorientador: Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo

PONTA GROSSA

2021



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Curso de Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo do tratamento de indústria madeireira utilizando reator anaeróbio

por

Andressa Sanches Coso

Stefani Flores Nehls

Monografia apresentada no dia 10 de maio de 2021 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cesar Augusto Canciam
(UTFPR)

Prof. Dr. Eduardo Sydney Bittencourt
(UTFPR)

Profa. Dra. Juliana M. T. de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

AGRADECIMENTOS

Somos gratas a Deus, que nos iluminou e sempre nos deu forças para que juntas conseguíssemos concluir esse trabalho em meio a um período tão difícil.

Aos nossos pais, Mario Coso e Tania Benato, Elizabete Flores e Sergio Nehls, que nos deram todo o suporte que precisávamos e nos apoiaram incondicionalmente sempre incentivando para que déssemos o nosso melhor.

Nosso agradecimento a nossa orientadora Juliana Martins de Abreu Pietrobelli e ao nosso coorientador Matheus Pereira Postigo, que nos deram a oportunidade de desenvolver a nossa ideia, sempre nos guiando e apoiando nessa etapa tão importante.

Agradecemos o apoio e a colaboração dos colegas de curso da Natalia Lavoranti e Vinicius Margon, aos mestrandos do PPGEQ – PG: Diogo Zarpellon e Eduardo Abreu, que nos ajudaram e tiraram nossas dúvidas durante a elaboração do nosso trabalho. Também a empresa Barsol Indústria e Comércio de Madeiras que disponibilizou o efluente para a realização de nossa pesquisa.

E por fim, aos nossos professores e nossos amigos que estiveram conosco durante toda a nossa caminhada na graduação e que vamos levar conosco para a vida.

RESUMO

COSO, Andressa Sanches; NEHLS, Stefani Flores. **Estudo do tratamento de efluente de indústria madeireira utilizando lodo ativado. 66 p. 2021.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

A indústria madeireira possui alta geração de resíduos contaminantes e vem em um crescente desenvolvimento (crescimento médio de 6% nas vendas domésticas e exportações de 2019 para 2020), aumentando constantemente o volume de produção e conseqüentemente o volume de resíduos. Isto posto, se faz necessário investir em métodos de tratamento. O presente trabalho teve o intuito de analisar o efluente do processo de cozimento da madeira, propondo alternativas para o tratamento visando a redução do impacto ambiental gerado por seu descarte inadequado. Para isso, caracterizou-se o efluente e testou-se tratamento por coagulação com cloreto férrico, o qual foi ineficiente nas condições testadas. Posteriormente, analisou-se a utilização de um reator anaeróbio piloto, em um modelo híbrido de processo, com lodo ativado em dois ciclos seguido de filtração. No primeiro ciclo obteve-se uma redução de 11% na DQO e no segundo ciclo com filtração uma redução de 23%, sendo que o esperado era uma redução de 60 a 70%. A baixa eficiência deve-se possivelmente ao método de tratamento no processo experimentado, manipulação e proporção do lodo e devido à presença de substâncias que impactam na reação anaeróbia, como a lignina.

Palavras-chave: Efluente industrial. Tratamento. Lignina. Reator Anaeróbio.

ABSTRACT

COSO, Andressa Sanches; NEHLS, Stefani Flores. **Study of wood industry effluent treatment using activated sludge. 66 p. 2021.** Work of Course Conclusion (Bachelor in Chemical Engineering) – University Technological Federal from Paraná, Ponta Grossa, 2021.

The wood industry has a high generation of polluting residues and is in a growing development, constantly increasing the volume of production (average growth of 6% in domestic sales and exports from 2019 to 2020) and consequently the volume of waste. That said, it is necessary to invest in treatment methods. The present work intended to analyze the effluent from the wood cooking process, proposing alternatives for the treatment aiming to reduce the environmental impact generated by its inadequate disposal. For this, the effluent was characterized and the treatment was tested by coagulation with ferric chloride, which proved to be inefficient. Subsequently, the use of a pilot anaerobic reactor was analyzed, in a hybrid process model, with activated sludge in two cycles followed by filtration. In the first cycle there was a reduction of 11% in COD and in the second cycle with filtration, a reduction of 23% and the expected reduction was 60 to 70%. The low efficiency is possibly due to the experienced treatment method, handling and proportion of the sludge and due to the presence of substances that impact the anaerobic reaction.

Key words: Industrial Effluent. Treatment. Lignin. Anaerobic reactor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes espécies de laminados	18
Figura 2 - Faqueadeira vertical	21
Figura 3 - Secador contínuo de esteira/press dryer	21
Figura 4 – Estrutura molecular lignina	30
Figura 5 - Representação do biodigestor modelo Indiano	32
Figura 6 - Representação do biodigestor modelo Chinês	33
Figura 7 - Representação do biodigestor modelo Canadense	34
Figura 8 - Representação do Biodigestor modelo UASB	35
Figura 9 - Fluxograma das etapas do processo	36
Figura 10 - Curva de Absorbância do Efluente	50

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Torno Desfolhador	20
Imagem 2 – Fardos de Lâminas Armazenados	22
Imagem 3 – Esquema do experimento utilizando reator RALF piloto	45
Imagem 4 - Esquema de filtração após o segundo tratamento	46
Imagem 5 – Separação de fases por solvente	49
Imagem 6 – Coloração das amostras após floculação	52
Imagem 7 – Filtrado após floculação	53
Imagem 8 – Remoção da turbidez por meio da coagulação por Garbim (2007)	54
Imagem 9 - Cor do efluente antes e após o tratamento	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do Tratamento	26
Quadro 2 – Parâmetros de caracterização da amostra vs. legislação	47
Quadro 3 – Sólidos fixos, totais e voláteis	48
Quadro 4 - Quantificação lignina insolúvel e lignina solúvel	51

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIMEX	Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
H ⁺	Cátions de Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
LiOH	Hidróxido de Lítio
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
P	Fósforo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	15
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	LAMINADOS DE MADEIRA	17
4.2	PROCESSO DE LAMINAÇÃO	18
4.3	DESTINAÇÃO DO EFLUENTE	22
4.3.1	Tratamento Por Método De Coagulação/Floculação.....	26
4.3.2	Utilização De Reator Anaeróbio No Tratamento De Efluentes	27
4.5	TIPOS DE BIODIGESTOR	31
4.6	ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO POR BIODIGESTÃO.....	36
4.6.1	Primeira Etapa.....	37
4.6.2	Segunda Etapa.....	38
4.6.3	Terceira Etapa	39
4.6.4	Quarta Etapa	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	40
5.1.1	pH.....	40
5.1.2	Sólidos Totais	40
5.1.3	Sólidos Fixos	41
5.1.4	Sólidos Voláteis	41
5.1.5	DBO e DQO.....	42
5.1.6	Óleos e Graxas	42

5.1.7 Lignina.....	43
5.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	43
5.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	46
6.1.1 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	47
6.1.2 Óleos e Graxas	48
6.1.3 Lignina.....	50
6.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA	54
7 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O setor da indústria madeireira pode ser dividido em alguns subsetores, dentre eles: celulose e papel, siderurgia e carvão vegetal, painéis de madeira e laminados, produtos sólidos de madeira, entre outros. Em 2018 este setor fechou com superávit de US \$11,4 bilhões, cerca de 26% maior que o ano anterior. As exportações somaram cerca de US \$12,5 bilhões, representando 5,2% das exportações brasileiras. De 2019 para 2020, as vendas domésticas no setor de painéis e de madeira cresceram cerca de 6,6%. As exportações também aumentaram em 5,9% (IBÁ, 2021).

A pesquisa e desenvolvimento de processos de produção mais “limpos” e consequentemente produtos mais sustentáveis é de extrema importância no atual contexto sócio-econômico, pois a preservação do meio ambiente e a geração de condições mais sustentáveis de vida são fatores que impactam diretamente nos interesses dos *stakeholders*. Logo, empresas que adotam políticas ambientais ganham destaque em um cenário competitivo.

Em vista do crescimento econômico deste setor e da importância ambiental, o tratamento de resíduos provenientes desse segmento industrial, como por exemplo, a água de cozimento da madeira, é imprescindível, pois esses efluentes possuem alta carga orgânica e podem causar a poluição dos solos e consequentemente dos lençóis freáticos.

O presente trabalho propõe um método de tratamento visando a redução do impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado do efluente de água de cozimento da madeira, sendo esse o único efluente da indústria de laminado. O principal objetivo do ensaio de tratamento foi adequar os parâmetros do efluente aos parâmetros de lançamento do CONAMA Nº 357/2005, CONAMA Nº 430/2011 e CONSEMA (MT) Nº 55/2012.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Testar alternativas para o tratamento de efluente do processo de cozimento da madeira.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar as propriedades físico-químicas do efluente;
- Analisar a eficácia do tratamento de coagulação com cloreto férrico na remoção de DBO/DQO e lignina;
- Examinar a eficiência de um tratamento em reator anaeróbio como tratamento secundário na remoção de DBO/DQO e lignina;
- Definir as melhores condições de tratamento do efluente estudado.

3 JUSTIFICATIVA

O volume total de água presente no planeta Terra está dividido entre águas subterrâneas e águas superficiais. As águas de oceanos e mares representam cerca de 97% do volume total, sendo outros 2% na forma de geleiras inacessíveis e 1% em águas subterrâneas. Os lençóis d'água são grandes responsáveis por alimentar os corpos d'água superficiais., logo o efluente ou qualquer outra substância lançada no solo podem atingir os lençóis d'água.

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a liberação de efluentes diretamente no solo caracteriza-se como lançamento indireto nos corpos d'água subterrâneos, havendo uma legislação que rege as condições de lançamento. As resoluções CONAMA Nº 357/2005 e 430/2011, descrevem as diretrizes legais de classificação dos corpos de água com suas diretrizes ambientais, e as condições e padrões de lançamento de efluentes, respectivamente.

Para que a empresa se adeque a legislação, é imprescindível a implementação de medidas de adequação do efluente para seu descarte no meio

ambiente. O emprego de tratamentos sustentáveis traz benefícios também a imagem da empresa, apostando no *marketing* verde a empresa ganha destaque entre os clientes que valorizam processos e produtos ecologicamente corretos. Desta forma, enfatiza-se a importância da realização de estudos que buscam propor alternativas para o tratamento de efluentes com potencial poluidor, como é gerado pela indústria madeireira e que é o objeto de estudo deste trabalho.

Atualmente, a empresa geradora do efluente abordado nesse trabalho não realiza o devido tratamento, descartando-o no solo. A empresa está situada no estado do Mato Grosso e não possui um processo definido para o tratamento desse tipo de efluente, o que dificulta a adequação da empresa às legislações da região. A falta de estrutura de tratamento e de conhecimento sobre o efluente do cozimento nos revela a necessidade de caracterizar e estudar mais sobre esse material.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 INDÚSTRIA MADEIREIRA

A indústria madeireira engloba as empresas que atuam na produção, colheita de árvores para seus mais diversos usos, empresas que convertem as madeiras em produtos de madeira serrada, papel e celulose, produtos químicos ou lenha. O Brasil está entre os principais países produtores de madeira do mundo (SINDIMADE, 2021).

Os produtos desta indústria variam, desde pisos laminados até a produção de biomassa para energia. Sendo esse setor, amplamente reconhecido pelo constante desenvolvimento de produtos e melhorias técnicas tendo como foco a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente (ABIMCI, 2021).

Os laminados e compensados são alguns dos produtos mais comuns deste setor. De forma que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em seus determinantes descreve os produtos denominados lâminas de madeira e compensados. Lâmina faqueada é a lâmina produzida pela movimentação do bloco, tora ou torete lateralmente contra uma faca adequada ou vice-versa. Torete significa

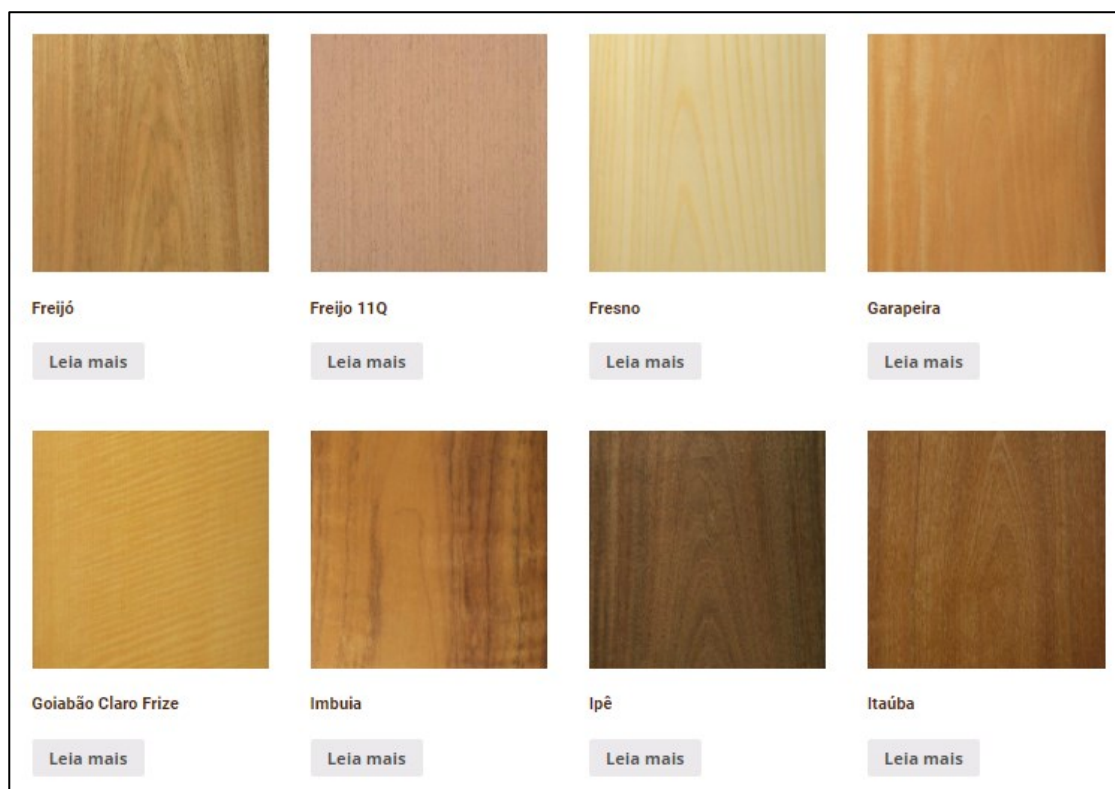
tora curta para ser serrada ou faqueada. Compensado é um painel composto por lâminas faqueadas com um miolo de sarrafeado ou outro painel à base de madeira.

4.1 LAMINADOS DE MADEIRA

Historicamente a origem de lâminas de madeira remonta aos anos 3000 a.C. no Egito, a qual era produzida por intermédio de serras manuais, com conformidade de lâminas espessas, porém a produção era baixa e havia grande geração de resíduos. Após o advento deste processo, as indústrias de laminação desenvolveram-se em 1800, com a invenção do torno laminador em 1818 que de certa forma viria a solucionar a industrialização da laminação. A primeira faqueadeira foi construída na França em 1834 e a primeira indústria laminadora foi na Alemanha, em meados do século XIX. No início do século XX, houve um grande crescimento de fábricas de compensados, assim aumentou significativamente a demanda de lâminas de madeira (SILVA; SANTOS, 2004).

A fabricação de lâminas exige alta qualidade e rendimento em seu processo, de forma que os equipamentos deste processo têm evoluído muito e a busca por espécies arbóreas diferentes, com grandes diâmetros, formas e cores únicas tem se mostrado essencial. A Figura 1 representa alguns exemplos de laminados comercializados no Brasil. Existem muitas outras espécies, até mesmo de árvores importadas.

Figura 1 - Diferentes espécies de laminados



Fonte: Laminort, 2021.

4.2 PROCESSO DE LAMINAÇÃO

Segundo Iwakiri, (2010) a produção de laminados envolve 6 etapas: armazenamento das toras, preparação das toras, laminação (torno ou faqueadeira), secagem de lâminas, guilhotinagem, classificação e armazenamento das lâminas secas.

Na etapa de armazenamento das toras, realizam-se as operações no pátio de toras, onde há o recebimento das mesmas, identificação (espécie) e mensuração, classificação e armazenamento de acordo com a logística de produção. Alguns problemas decorrentes dessa etapa, são ataques de agentes biodegradadores e bactérias e fungos que causam manchas e odores, exposição a condições climáticas. Esses problemas são graves, visto que a lâmina é muito utilizada no nicho estético do mercado, o qual dá extrema importância a aparência da madeira laminada (IWAKIRI, 2009).

Durante a preparação das toras para laminação, ocorre o descascamento das mesmas com a finalidade de diminuir o tempo de amolecimento das fibras. Há quatro principais formas de descascamento: por meio de ferramentas manuais, descascador tambor rotativo (frequentemente utilizado em indústria de papel e celulose), descascador do tipo anel e do tipo plaina. Em seguida há a conversão das toras para o padrão de dimensão dos compensados, utiliza-se nesta etapa motosserras e serra circular. A finalidade da conversão é melhor fixação da tora nas etapas seguintes e eliminar defeitos (PEREIRA, 2016).

Ainda na preparação das toras para laminação, realiza-se o aquecimento com a finalidade de aumentar a plasticidade da madeira ao amolecer suas fibras, facilitando as condições de laminação. O processo de aquecimento pode ocorrer em imersão das toras em água quente, expô-las ao vapor ou a junção dos dois métodos. Os tanques de aquecimento com água quente são mais comuns, pois obtêm-se melhor controle de temperatura, uniformidade no aquecimento e maior eficiência. Porém, há um efluente a ser descartado e tratado. O tempo de aquecimento depende de cada espécie arbórea, densidade e a cor que desejar no produto final (IWAKIRI, 2009).

A etapa de laminação transcorre por meio de torno ou por meio de uma faqueadeira. No torno há uma laminação contínua por meio da rotação das toras contra uma faca, também denominado de desfolhador (Imagem 1). O volume de produção é maior comparado ao da faqueadeira e o corte é mais uniforme. Estas lâminas são destinadas para a produção de compensados multilaminados (GONÇALVES; ALMEIDA, 1998).

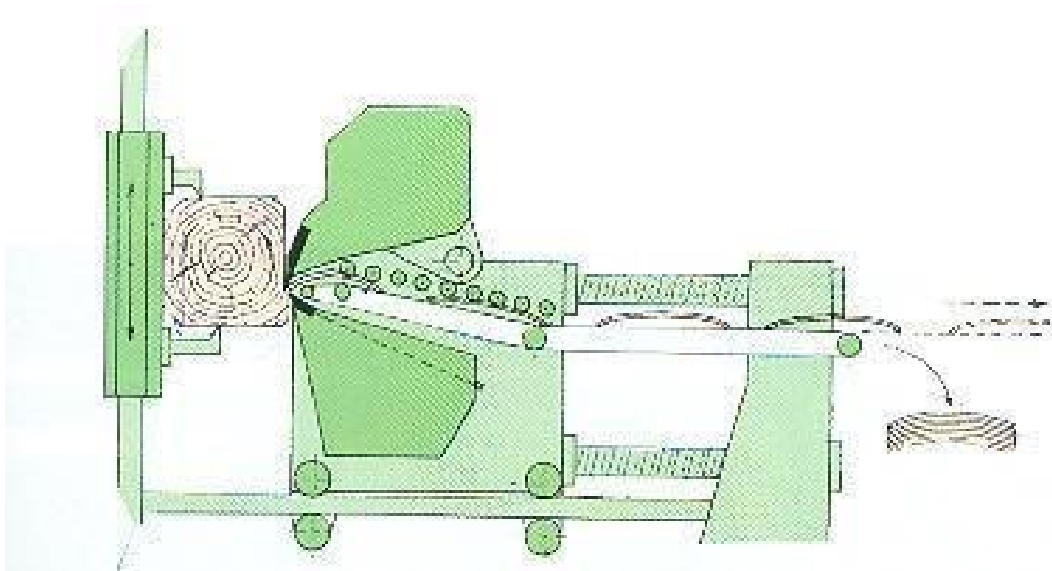
Imagem 1 - Torno desfolhador



Fonte: Omeco Indústria e Comércio de Máquinas LTDA, 2019.

A faqueadeira processa a lâmina da madeira de forma descontínua, visando um produto direcionado a estética, nesta os cortes são planos e causam menor resistência a rachaduras (GONÇALVES; ALMEIDA, 1998). Há vários tipos de faqueadeiras, sendo as principais: horizontal, vertical, rotativa e longitudinal. A Figura 2 ilustra uma faqueadeira vertical. Observa-se que necessita adaptar a etapa de conversão das toras no dimensionamento padrão para cada tipo de laminação, pois o torno e as faqueadeiras possuem diferentes tamanhos e posição de cortes (OMECO INDÚSTRIA, 2019).

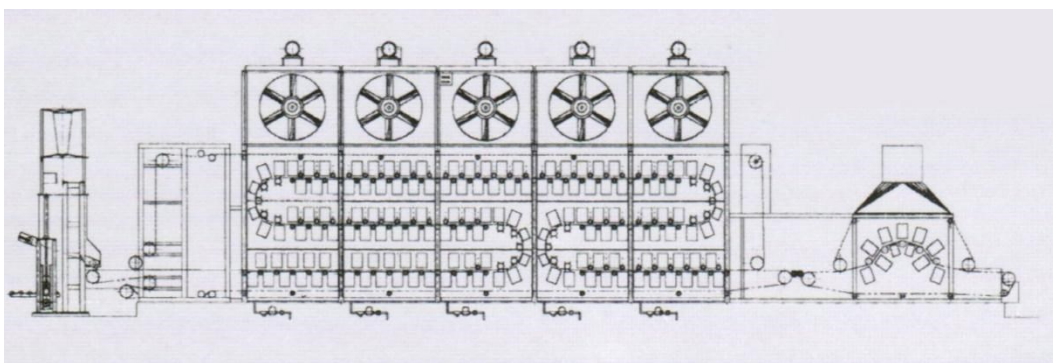
Figura 2 - Faqueadeira vertical



Fonte: Iwakiri, 2009.

A próxima etapa, secagem das lâminas, é muito importante, pois a umidade da madeira é quase totalmente removida a fim de que se mantenha conservada, mais maleável e possa oferecer condições adequadas para a colagem de lâminas nos compensados. O secador mais eficiente, atualmente é o secador contínuo de esteira ou *press dryer*. As principais vantagens deste, é alta eficiência, causando poucas ondulações nas lâminas, não manchando as mesmas pois as esteiras são compostas de aço inoxidável e a posição das esteiras traz mais uniformidade na remoção da umidade. A Figura 3 demonstra um secador do tipo contínuo de esteira (PEREIRA,2016).

Figura 3 - Secador contínuo de esteira/press dryer



Fonte: Omeco Indústria e Comércio de Máquinas LTDA, 2019.

Em seguida, realiza-se a etapa da guilhotinagem das lâminas, que basicamente é o corte padronizado. O objetivo é tirar manchas e defeitos e aglomerar as lâminas em fardos para serem transportadas. Assim, transcorre-se a classificação para madeira tropical (natural, primeira, segunda, terceira e quarta classe) e para lâminas de *Pinus* (A, B, C+, C e D) de acordo com os parâmetros de classificação. Por fim, é armazenado o produto finalizado e aglomerado em fardos, como ilustra a Imagem 2 (ABNT, 1986).

Imagem 2 - Fardos de lâminas armazenados.



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.3 DESTINAÇÃO DO EFLUENTE

A destinação correta de efluentes e resíduos dos processos industriais tem sido um grande desafio para as empresas, já que, em sua maioria, os efluentes possuem uma alta carga de contaminantes que ao serem descartados incorretamente ocasionam problemas ambientais. Logo, é fundamental a realização de tratamentos para que não haja impactos negativos ao meio ambiente (COSTA, TELLES, 2010).

Sob o mesmo ponto de vista, tem-se que a implementação de sistemas de tratamento de efluentes, a fim de evitar impactos ambientais, que podem gerar altos custos para as empresas. Isto faz com que a busca constante por métodos de tratamento eficazes, de baixo custo e de fácil implementação seja crucial (LEGNER,2020).

Cada ramo industrial produz um efluente particular, gerando assim uma grande variabilidade de efluentes com composições distintas. Para que ocorra a sua classificação e para determinação do tratamento a ser implementado na indústria devem ser definidos alguns parâmetros. Segundo Von Sperling (1998), a temperatura, cor, odor, turbidez, sólidos totais, matéria orgânica, pH e óleos e graxas são os principais parâmetros a serem analisados na caracterização do efluente. Baseados nesses aspectos define-se o tratamento adequado a ser implementado no processo, para que com o efluente tratado seja possível o seu descarte (GAUTO; ROSA, 2011).

A resolução nº 430 do CONAMA de 13 de maio de 2011 define as condições para o lançamento de efluentes, complementando a resolução nº 357 do CONAMA de 17 de março de 2015, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. As especificações descritas nesta resolução relacionam os aspectos físicos, químicos e biológicos do efluente de forma que o despejo não gere impacto no meio ambiente. Para o estado do Mato Grosso a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) define parâmetros para o lançamento de efluentes de modo adicional aos parâmetros definidos pelo CONAMA. O não cumprimento dessas determinações pode acarretar multas e em sanções a empresa, podendo até impedi-la de exercer suas atividades. Esta resolução determina os seguintes parâmetros de controle de qualidade do efluente:

Tabela 1 - Padrões de qualidade

PARÂMETRO	CONDIÇÃO	SEMA-MT
Materiais flutuantes	Ausentes	Ausentes
Óleos e graxas	óleos minerais: até 20mg/L óleos vegetais: até 50mg/L	doméstico: até 100mg/L empreendimento hoteleiro e hospitais: até 50mg/L
Materiais sedimentáveis	Virtualmente Ausentes	Até 1mL/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO – 5 dias a 20°C)	Remoção mínima de 60%	60 mg/L
Temperatura	Inferior a 40°C	Inferior a 40°C
pH	5,0 a 9,0	5,0 a 9,0

Fonte: CONAMA e SEMA-MT.

A obstrução do sistema hídrico do solo causado pelo acúmulo de matéria orgânica é um exemplo dos impactos gerados pelo descarte de efluentes com alta carga orgânica (TANNER, 2012). Do mesmo modo, um efluente com alta carga orgânica pode afetar também os microrganismos existentes, pois quanto maior a carga orgânica maior será a proliferação de bactérias e isso implica na diminuição da quantidade de oxigênio matando assim os microrganismos presentes no corpo receptor (GIORDANO,2011; ARCHELLA; et al, 2003).

Para que o efluente esteja dentro dos parâmetros exigidos por lei é realizado seu tratamento. É possível classificar os processos de tratamento de acordo com a sua natureza (tratamento físico, biológico e químico), em função da composição dos poluentes a serem removidos ou das operações unitárias utilizadas para o tratamento. Comumente os processos são classificados em quatro etapas: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (GAUTO, ROSA, 2011; SPERLING, 1998).

O tratamento preliminar tem como finalidade a remoção de sólidos suspensos e dos sólidos decantáveis. Essa etapa consiste na utilização de processos físicos como o gradeamento e o peneiramento. O gradeamento é mais utilizado para a remoção de sólidos grosseiros, o seu processo consiste na passagem do fluido por grades que possuem um espaçamento pré-determinado que

varia entre 0,5 mm e 2 cm. Já o peneiramento é mais utilizado para sólidos com cargas orgânicas significativas, o processo ocorre de forma semelhante ao gradeamento, o fluido passa pela peneira com diâmetro preestabelecido, ficando retido na peneira o sólido de maior diâmetro (SILVEIRA,2010).

A segunda etapa de tratamento correspondente a etapa de tratamento primário, consiste na separação dos poluentes sedimentáveis por meio de processos físico-químicos. Isto posto, essa etapa constitui da remoção de grande parcela do material orgânico presente do fluido podendo também ocorrer o ajuste de pH. As operações unitárias mais utilizadas são: a sedimentação, a filtração e a flotação. A sedimentação consiste na separação de sólidos de um fluido devido a sua diferença de peso, de forma que o sólido precipita criando uma diferença de fases facilmente separável (UFSC, 2014; NUNES, 2008). A filtração consiste no escoamento da mistura por um filtro, que retém os sólidos (TERUYA, 2012). Já a flotação insere bolhas de ar a uma mistura em suspensão, de forma que as partículas se acoplam às bolhas e formam uma espuma que é facilmente removida (MASSI et al., 2007).

O tratamento secundário visa a remoção de compostos dissolvidos que não decantam, utilizando assim de processos biológicos para sua retirada. Nessa etapa podem ser utilizados dois tipos de processos, os processos aeróbios e os anaeróbios. Os processos aeróbios podem ser realizados por meio de lagoas aeradas onde é disposto o efluente e por meio do fornecimento de oxigênio os microrganismos biodegradam a matéria orgânica e em suspensão, isso resulta em gás carbônico, água e flocos biológicos de fácil remoção. Já o processo anaeróbio pode ocorrer por meio da utilização de biodigestores. Por se tratar de um processo que não consome oxigênio, as bactérias anaeróbicas degradam os compostos orgânicos transformando-os em ácidos voláteis e a partir desses ácidos voláteis as bactérias metanogênicas fazem a conversão dos ácidos em gases como o gás metano (GAUTO, ROSA,2011).

Ocasionalmente é utilizado o tratamento terciário. Essa etapa visa tirar poluentes específicos não removidos na etapa secundária, como matéria orgânica resistente, sólidos suspensos e organismos patogênicos em quantidades superiores às permitidas por lei. Alguns processos utilizados são: a eletrocoagulação, nanofiltração, osmose reversa e ozonização. No Quadro 1, tem-se uma relação entre

a etapa de tratamento, o tipo de composto removido e o processo utilizado (SPERLING,1998; GARBIM,2017).

Quadro 1- Etapas de tratamento

Etapa de tratamento	Remoção	Mecanismos de remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)	Gradeamento
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis	Sedimentação, Flotação, Filtração
	DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)	
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário)	Lagoas aeradas Biodigestor
	DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)	
Terciário	Nutrientes	eletrocoagulação, nanofiltração, osmose reversa e ozonização
	Patogênicos	
	Compostos não biodegradáveis	
	Metais pesados	
	Sólidos inorgânicos dissolvidos	
	Sólidos em suspensão remanescentes	

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1998

4.3.1 Tratamento Por Método De Coagulação/Floculação

O método de coagulação/floculação é amplamente utilizado para separação de misturas coloidais em que as partículas sólidas têm o tamanho entre 1 a 1000 nanômetros. É um tratamento primário convencional de água e esgotos.

Por meio da adição de um agente coagulante, o qual deve atuar em um pH específico, e agitação para homogeneizar a mistura, ocorre a hidrólise,

polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos usualmente denominados de gel. Desta forma, com os compostos de carga positiva e as partículas coloidais negativas, cria-se o ponto isoelétrico, proporcionando a formação dos flocos de partículas da mistura coloidal (GEWEHR, 2012).

Após a coagulação, deve-se manter uma agitação lenta na mistura para a formação dos flocos, ou seja, floculação. Esta mistura pode ser separada posteriormente por flotação, sedimentação ou filtração.

4.3.2 Utilização De Reator Anaeróbio No Tratamento De Efluentes

A produção de efluentes é diretamente proporcional à atividade industrial, que vem aumentando ao longo dos anos. Com o alto volume de efluentes, é de grande relevância a seleção de tratamentos adequados a fim de assegurar que o efluente sairá do processo nas condições determinadas por lei. A escolha correta pode impactar na redução do consumo de energia e insumos, além de reduzir custos de operação (STEIN, 2012).

Tendo isso em vista, o reator anaeróbio pode se apresentar como uma opção eficaz e de boa rentabilidade. Atualmente, no Brasil, a política de incentivo à implementação de biodigestores vem em uma grande crescente. Isso ocorre, pois o biodigestor, além de tratar o resíduo final também é fonte de energia limpa, sendo que essa energia pode ser retornada ao processo ou vendida a companhia de energia da região (ZANETTE, 2009).

Desde que foi firmado o Protocolo de Quioto, se objetiva reduzir a emissão de gases que agravam o efeito estufa. Como incentivo, a redução das emissões passou a possuir um valor econômico, desta forma foi determinado que uma tonelada de dióxido de carbono que deixou de ser emitida corresponde a um crédito de carbono. Esses créditos de carbono podem ser vendidos e assim trazem retorno financeiro para indústria que diminui a sua emissão de gases (IPAM Amazônia). Sendo esse uma das grandes motivações da implementação de biodigestores nas empresas (LIMA, 2013).

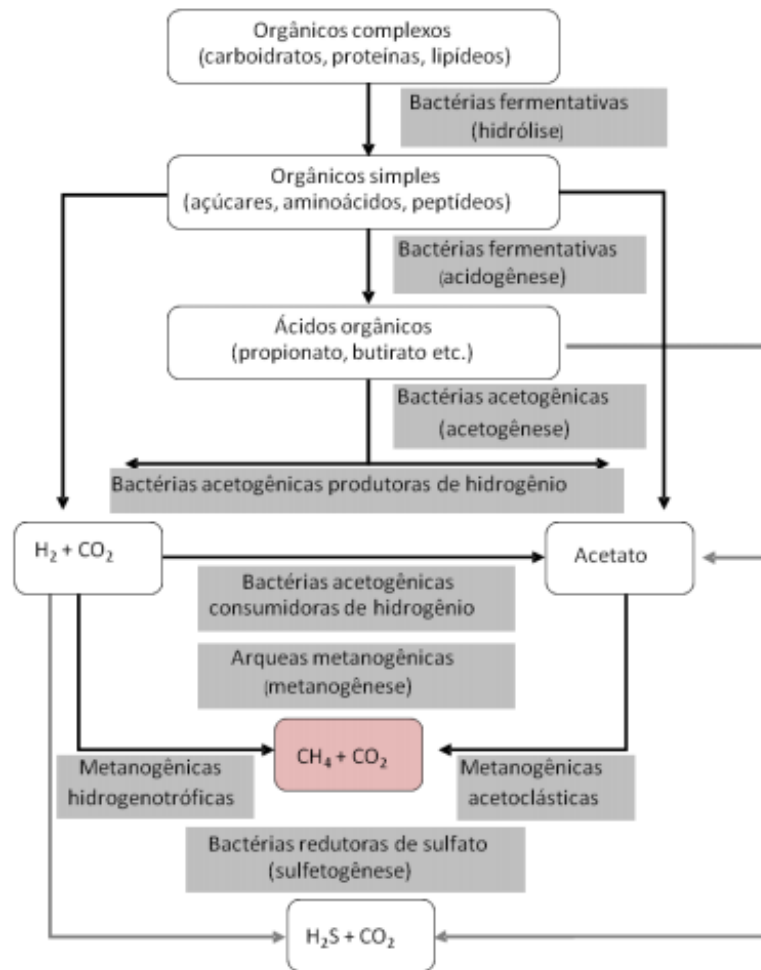
De acordo com o levantamento realizado pelo BNDES (2018, p.218) sobre o panorama do biogás e as suas perspectivas, têm-se o seguinte:

“O principal método de produção do biogás é a quebra biológica de material orgânico na ausência de oxigênio, conhecida como digestão anaeróbica. Em plantas industriais, os micro-organismos digerem a matéria-prima em um reator controlado, produzindo biogás com 50% a 70% de metano. A partir daí, o biogás pode ser melhorado por vários métodos (absorção, adsorção, filtração por membrana, separação criogênica), resultando em uma elevação da percentagem de metano e aproximando o biogás ao gás natural fóssil, o que permite seu uso intercambiável.”

Conforme exposto, tem-se que o fator determinante para que a produção de biogás seja considerada vantajosa é a proporção de metano produzido. O metano aumenta o potencial energético do biogás. Nesse sentido, ficam explícito os benefícios de sua produção, já que faz da geração de rejeitos no processo uma oportunidade de produzir energia limpa e de grande capacidade energética.

O processo de digestão ocorre em três etapas essenciais para que a degradação da matéria orgânica ocorra de maneira efetiva. Essas etapas são: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese (HEYDT et al, 2015). Esse processo pode ser conferido no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Processo de Digestão



Fonte: Araújo, 2017

Na hidrólise todo o material particulado é dissolvido e hidrolisado em monômeros simples. A etapa seguinte é a etapa de fermentação ou também chamada de acidogênese, onde os aminoácidos, açúcares e ácidos graxos são degradados e fermentados produzindo acetato, hidrogênio e CO₂. Na última etapa, bactérias anaeróbicas controlam a produção de metano dos produtos da fermentação (BNDES, 2018; ZANETTE, 2009).

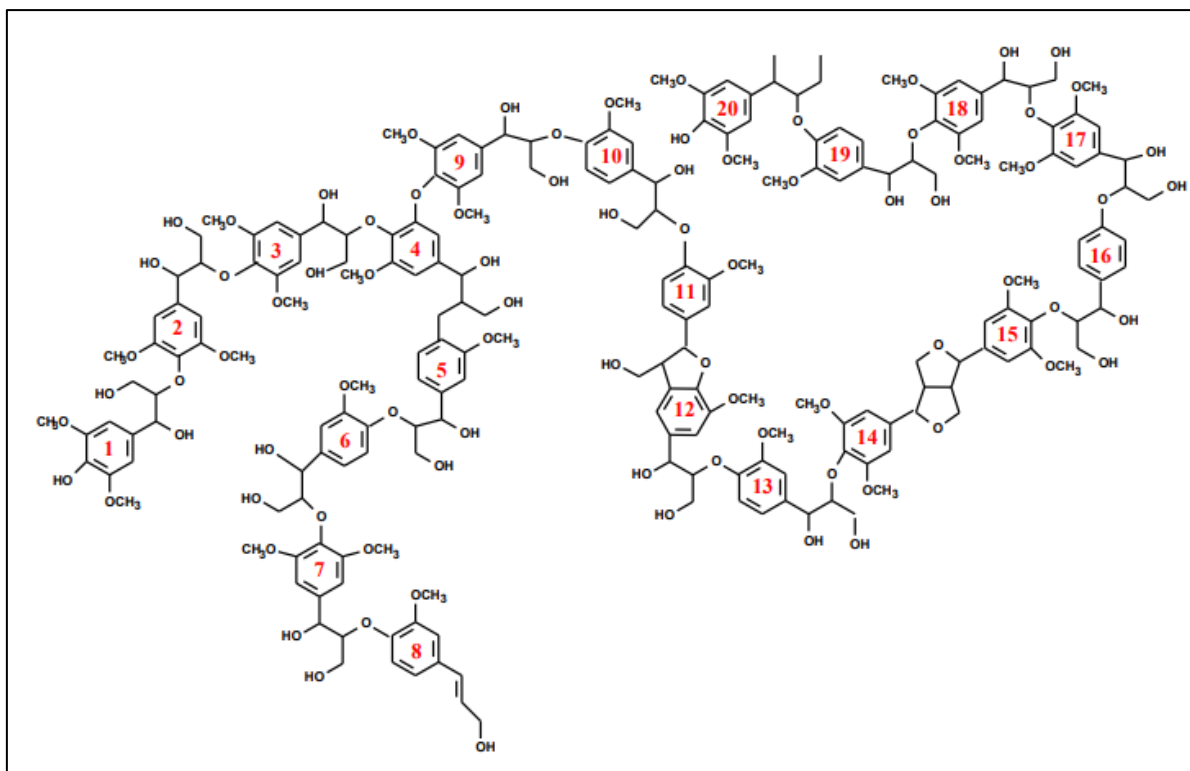
Arruda et al (2002, pg. 5) afirma que para que a reação ocorra com maior eficiência há algumas condições que devem ser controladas no processo para que ocorra uma fermentação ótima, essas condições são:

- **TEMPERATURA:** A temperatura do processo deve se manter constante e próxima a 30°C;

- NUTRIENTES ESSENCIAIS: A relação carbono/nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1;
- TEOR DE ÁGUA: Deve conter aproximadamente 90% do peso em água;
- TEMPO DE RETENÇÃO: Consiste no tempo em que deve ocorrer a fermentação.

Efluentes a partir de processos da indústria madeireira, devido à estrutura química da madeira, são ricos em lignina. A lignina é um polímero aromático de alto peso molecular, está presente na parede celular e na lamela média dos vegetais, conferindo rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques biológicos. Sua estrutura é extremamente complexa, resultado de reações enzimáticas envolvendo radicais livres sobre álcoois. Essas características fazem com que a lignina (conforme Figura 4) seja de difícil degradabilidade no processo de digestão, impedindo assim que a etapa de hidrólise seja realizada com total eficiência (FUKUSHIMA; HATFIELD, 2003).

Figura 4 - Estrutura molecular lignina



Para que a etapa de digestão ocorra de maneira satisfatória é preciso realizar um controle dos fatores críticos do processo, como controle de temperatura e de pH do processo, visando as condições ótimas de processo. Além dos fatores críticos já abordados previamente, deve-se também levar em consideração os teores de lignina da amostra, já que a lignina possui um comportamento inibidor da digestão (FUKUSHIMA; HATFIELD, 2003). Portanto, quanto menor o teor de lignina melhor será a digestão do efluente.

A complexidade da estrutura da lignina implica não só na dificuldade de realização do processo de digestão, mas também na dificuldade de sua determinação e remoção total. Sendo assim, tendo em vista que as condições iniciais da amostra não são controláveis, se faz necessário incluir processos preliminares de tratamento que atuam como auxiliares na redução máxima da lignina, como tratamentos primários e secundários antes de implementar o processo de digestão. A adição de etapas auxiliares de tratamentos implica no aumento na efetividade da digestão.

4.5 TIPOS DE BIODIGESTOR

O biodigestor é definido por Rodrigues (2014) como um sistema simples que tem como finalidade fornecer as condições adequadas para que a degradação do material orgânico ocorra. Esse mecanismo é composto basicamente de um tanque vedado que recebe uma quantidade de biomassa para a fermentação e um gasômetro para a armazenagem do biogás. Os tipos de biodigestores mais conhecidos são os biodigestores contínuos chinês, canadense e o indiano, e o modelo batelada.

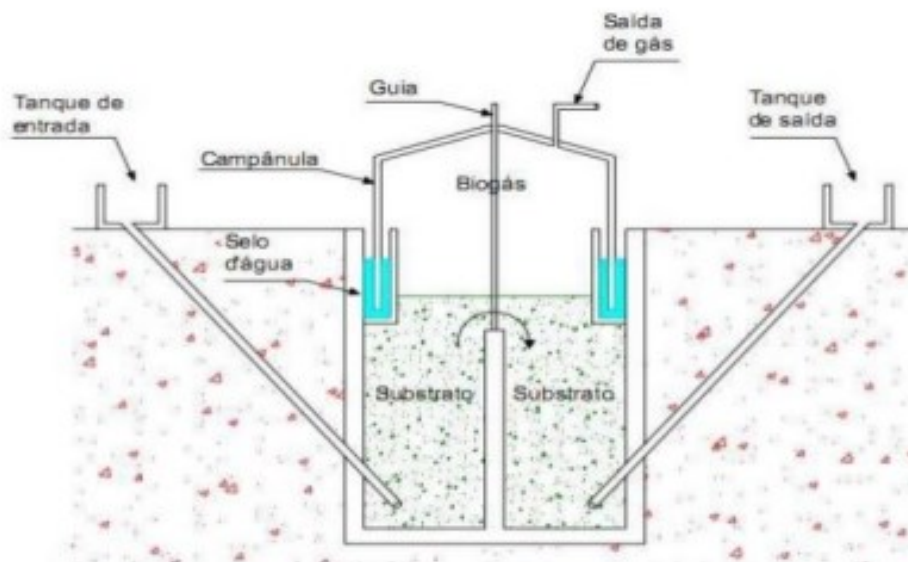
São denominados biodigestores em batelada aqueles equipamentos em que é disposta uma carga de matéria orgânica e essa carga só é retirada ao fim da digestão de toda a matéria. O tratamento biológico por lodo ativado em processo batelada é formado por um único reator tanque que possui várias funções. Que são as etapas de enchimento do efluente a ser tratado, reação com o lodo, decantação e por fim retirada do sobrenadante. O lodo fica retido no reator (MARCONI, 2001).

Já para os biodigestores contínuos é necessário um abastecimento diário, de forma que a entrada e a saída de produtos são constantes (FRIGO et al., 2015). Para um processo contínuo, Araújo (2017) define o modelo indiano que da seguinte forma:

“O modelo de biodigestor indiano possui uma campânula flutuante como gasômetro que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo de água externo, para reduzir perdas durante o processo de produção de gás. Possui ainda uma parede central, fazendo do tanque de fermentação um tanque de câmara dupla. À medida que o volume de gás produzido não é imediatamente consumido, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando seu volume e mantendo a pressão de operação constante”.

Este modelo tem como sua característica principal a capacidade de manter a temperatura do sistema constante, isso se deve ao fato de que o biodigestor deve ser construído no solo de forma que só a campânula se encontre acima do solo, como pode ser observado na Figura 5. Esse sistema é muito apropriado para o uso de esterco bovino como substrato, necessitando assim de alimentação diária. Sua construção é de alto custo por se tratar de um sistema subterrâneo (FIEP,2016).

Figura 5 - Representação do biodigestor modelo Indiano

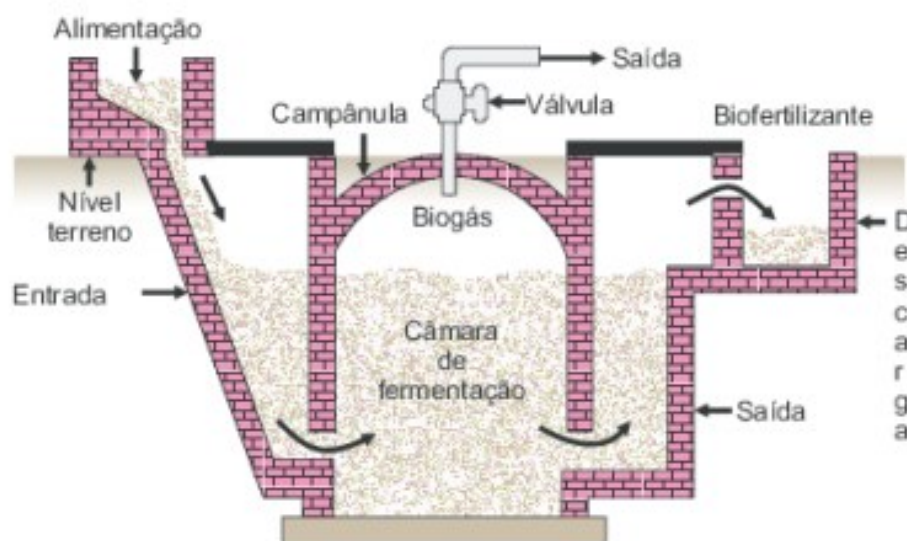


Fonte: Araújo,2017.

Um grande contraponto na implementação desse modelo é o fato de que sua manutenção é cara, os materiais utilizados na construção da cúpula são de alto valor. Esses fatores fazem com que o sistema seja inviável para instalações de pequeno porte já que sua relação custo/benefício é muito alta.

Outro modelo amplamente utilizado é o modelo chinês. Segundo Araujo (2017), esse equipamento tem em sua estrutura uma câmara de fermentação em alvenaria com um teto abobadado impermeável. Esse teto é o responsável por armazenar o biogás produzido. O aumento de pressão ocasionado pelo acúmulo do biogás no interior do biodigestor implica no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a saída. Seu esquema está representado na Figura 6.

Figura 6 - Representação do biodigestor modelo chinês



Fonte:Araújo,2017

O biodigestor chinês é um sistema de fácil instalação, utilizando somente tijolo, cimento, pedra e areia, além de ser o equipamento mais indicado para instalações de pequeno porte. Outro aspecto significativo é de que esse biodigestor gera ótimos resultados quanto a produção de biomassa ao final da digestão, de forma que essa biomassa pode ser utilizada como fertilizante, gerando assim um subproduto do processo. Entretanto, o armazenamento de gás é uma de suas

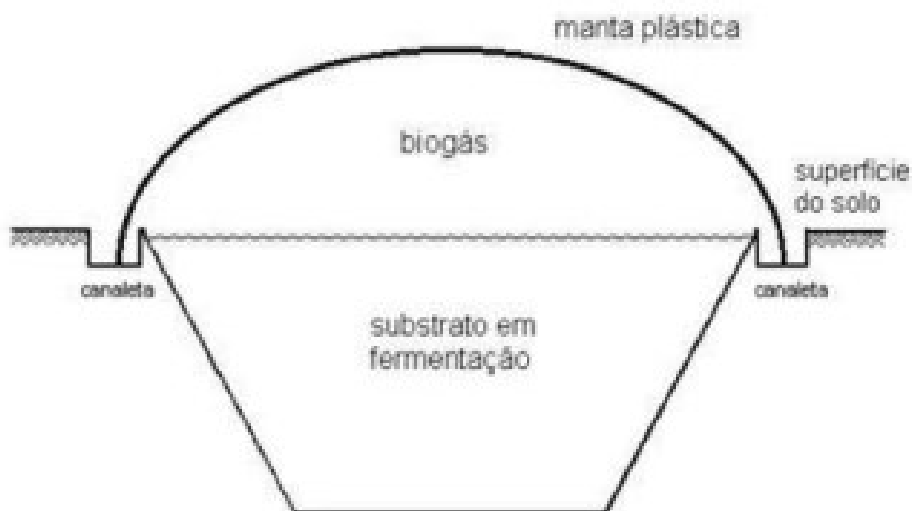
grandes desvantagens podendo ocorrer vazamentos devido à porosidade dos materiais.

Apesar de exigir baixo investimento, a sua relação custo-benefício não é favorável devido ao fato de que esse sistema possui uma baixa armazenagem de gás, além de não ser indicado para a construção em solos superficiais e para instalações de grande porte.

Já o modelo canadense, Figura 7, também conhecido como “modelo da marinha”, é mais tecnológico e de estrutura simples. Ele é descrito por Araujo (2017) da seguinte maneira:

“Possui uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar. É do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria. À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, ou pode ser enviado a um gasômetro separado para se obter um maior controle operacional”.

Figura 7 - Biodigestor do modelo Canadense



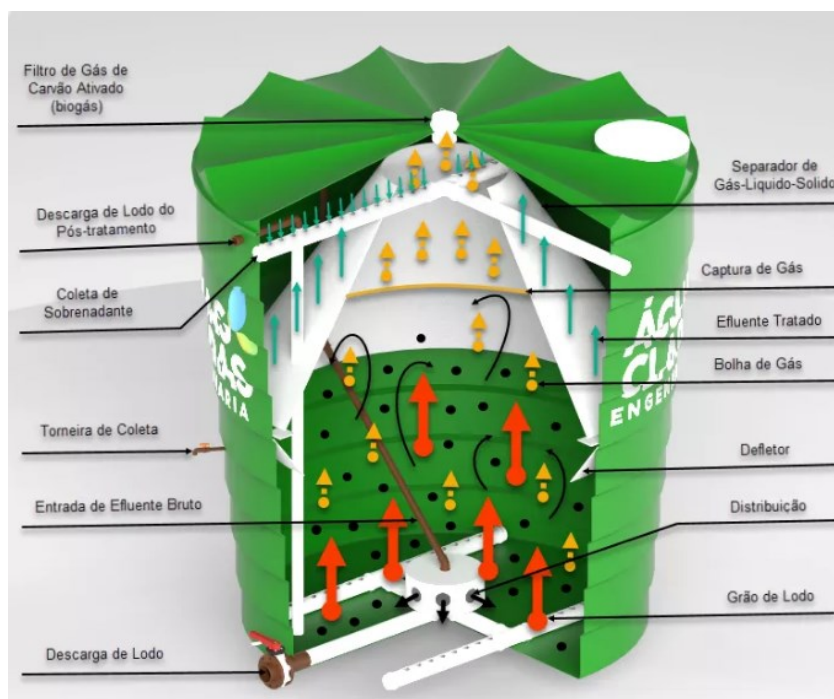
Fonte: Andrade, 2018

Esse tipo de biodigestor tem recebido grande destaque pois se trata de um sistema que possui uma ótima relação custo/benefício. Isso se deve ao fato de que os materiais utilizados para a sua construção são de baixo custo, além de que seu sistema de funcionamento facilita a realização da manutenção e limpeza do equipamento. Outro ponto vantajoso é que a sua estrutura foi planejada de tal maneira em que a área exposta ao ambiente auxilia no controle da temperatura

fazendo assim com que o processo mantenha a temperatura nos níveis indicados, favorecendo deste modo o processo de digestão anaeróbia.

Por fim, o reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) tem ganhado destaque no tratamento de esgotos e efluentes industriais. Esse reator consiste em uma coluna de escoamento ascendente, constituída por uma área de digestão, uma área de sedimentação e um dispositivo separador de fases gás/sólido/líquido. No fundo do reator onde o efluente é alimentado, há o lodo no qual ocorre a mistura e o processo de biodigestão (UFRJ). O esquema do reator UASB pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Representação do Biodigestor modelo UASB



Fonte: Águas claras engenharia, 2017.

Nesse sistema, o lodo presente no fundo do tanque impede que a biomassa seja retirada juntamente com o efluente, retendo-o no fundo. Na parte superior há um separador que faz a separação do gás de outras partículas que podem ser arrasados no processo, encaminhando assim o gás puro para o armazenamento ou para o sistema de reaproveitamento de energia. Sua principal vantagem é que seus produtos (gás, efluente e biomassa) saem do processo com uma alta taxa de pureza,

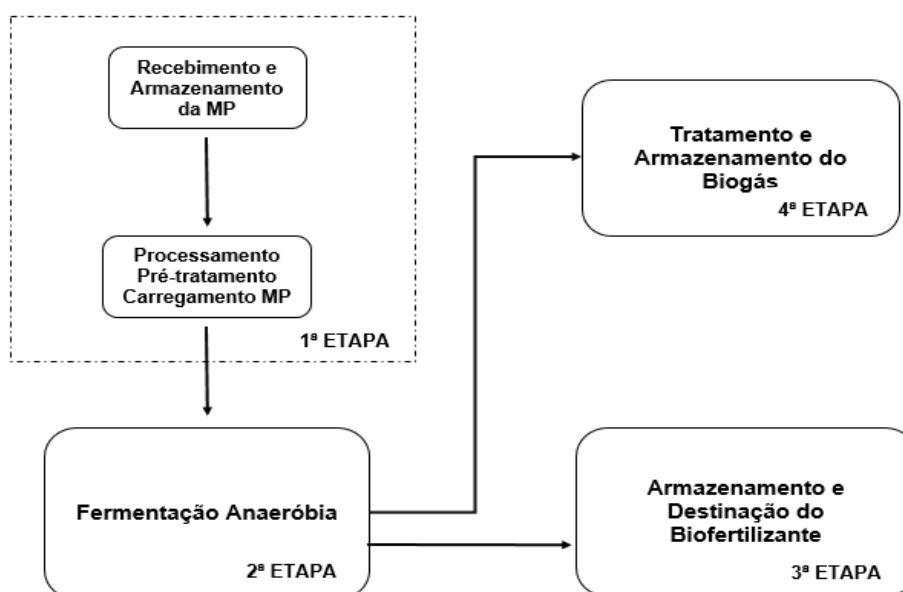
descartando assim a implantação de outros processos de purificação (SPERLING, 2007).

Um biodigestor necessita de pequenos espaços para sua implantação e reduz consideravelmente o volume de resíduos a serem descartados. Para que esse mecanismo atenda às necessidades da indústria da melhor forma deve-se analisar os seguintes parâmetros: a quantidade e o tipo de efluente recebido, necessidade de energia e a necessidade de fertilizante. Portanto assim será possível a determinação do modelo mais adequado de biodigestor a ser utilizado, visando sempre o melhor custo-benefício e o mais eficaz no tratamento do efluente (RODRIGUES, et al. 2014).

4.6 ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO POR BIODIGESTÃO

O processo de biodigestão basicamente envolve uma sequência de etapas bioquímicas de conversão anaeróbia de matéria orgânica dentro do biorreator, para a formação de biogás e biofertilizante. Porém há outras etapas envolvidas no processo completo, desde o recebimento e armazenamento de matéria-prima até purificação e armazenamento do biogás produzido e destinação do biofertilizante. Portanto, a seguir serão descritas as etapas do processo de biodigestão, que estão esquematizadas na Figura 9, assim como características técnicas e equipamentos.

Figura 9 - Fluxograma das etapas do processo



Fonte: Adaptado de Senai et al. (2016).

Segundo Senai et al. (2016), a primeira etapa envolve o recebimento e armazenamento da matéria-prima, o processamento e o pré-tratamento que são opcionais pois dependem das condições e do tipo da matéria-prima e por fim o carregamento do material no biodigestor. A segunda etapa representa a decomposição anaeróbia dentro do reator. A terceira fase constitui o armazenamento, tratamento opcional e destinação do biofertilizante, que é o lodo restante da biodigestão. A última fase contempla a purificação, armazenamento e distribuição do biogás.

4.6.1 Primeira Etapa

Primeiramente a matéria-prima é armazenada em reservatórios construídos de concreto ou metal. O dimensionamento dos mesmos, considera o volume de substrato, a capacidade do biodigestor, compensação de irregularidades das entregas e possíveis quedas operacionais. Em algumas situações há a necessidade da construção de tanque de higienização, com a finalidade de destruir algumas bactérias problemáticas na biodigestão. Para facilitar a alimentação do biodigestor, pode-se construir um tanque de carga constituído de concreto impermeável e localizado em posição mais alta que o biodigestor. O dimensionamento vai depender do sistema de biodigestão e do regime de operação do biodigestor.

O processamento da matéria-prima é opcional, no entanto a matéria-prima pode ser constituída de biomassa em fragmentos grandes, logo a utilização de fragmentadores torna-se de suma importância para a homogeneização do substrato. Há diferentes tipos de fragmentadores, são eles: fragmentador acoplado a unidade de dosagem e alimentação, fragmentador externo, agitadores de fragmentação, fragmentação na linha de transporte, entre outros.

Todos possuem dimensionamento específico, porém segundo FNR (2010), fragmentadores em linha ou acoplados a sistemas de transporte, dosagem ou alimentação são recomendados em unidades médias e grandes de produção de biogás. Já os fragmentadores externos e agitadores de fragmentação (agitam a mistura e fragmentam simultaneamente) são recomendados em unidades pequenas.

O pré-tratamento da matéria-prima pode ser necessário por conta de um substrato de difícil decomposição, segundo Senai et al. (2016) há três formas de concluir esta fase: decomposição preliminar aeróbica, hidrólise e acidificação e desintegração.

Durante a decomposição preliminar aeróbia, calor é gerado, o que economiza energia térmica durante o processo, porém minimiza o rendimento de produção de biogás. Esta pode ser realizada dentro do tanque de armazenamento da matéria-prima.

A hidrólise ácida e a desintegração necessitam adição de reagentes químicos, aumentando os custos do processo. A hidrólise deve ser realizada em um tanque anterior ao biodigestor, com controle de pH e sistema de aquecimento para aumentar o rendimento. A desintegração também deve ser realizada anteriormente a biodigestão em tanques específicos para promover processos físicos como: elevação da temperatura, elevação da pressão, aplicação de desintegração ultrassônica, entre outros.

Por fim, o carregamento da matéria-prima líquida pode ser realizado por meio de bombas e tubulações. Porém se o substrato for composto por fase sólida, em sistema contínuo, os equipamentos mais utilizados são os pistões de alimentação, os transportadores helicoidais e os separadores de rosca (SENAI et al., 2016). O dimensionamento destes dependerá basicamente da vazão e das características do substrato.

4.6.2 Segunda Etapa

Nesta etapa ocorre a degradação anaeróbia no interior do biodigestor de diversos modelos. Os principais modelos de reatores e a sequência de reações bioquímicas que ocorrem em seu interior já foram mencionadas anteriormente.

Pereira (2009) explica que a escolha do modelo do biodigestor dependerá da análise de qualidade da biomassa, o qual será o substrato disponível. Normalmente, os reatores são fabricados de aço ou concreto. Podem apresentar formas cilíndricas, quadrados ou retangulares, enterrados parcialmente na vertical ou acima da superfície do solo.

A análise do terreno é muito importante para construção dos biodigestores, pois pode evitar infiltrações, consequentemente futuros vazamentos e evitar desmoronamentos e afundamentos. Por isso, Senai et al. (2016), enfatiza a análise topográfica do terreno a ser projetado o processo de biodigestão.

O dimensionamento depende principalmente do volume de carga diária (carga orgânica e água) multiplicado pelo tempo de detenção hidráulica durante a fermentação, dessa maneira obtém-se o volume do reator (PEREIRA, 2009). Alguns equipamentos extras serão necessários dependendo de cada situação, como agitadores e sistemas de remoção de sedimentos.

Os agitadores devem manter a estanqueidade do tanque e aumentar a eficiência da decomposição anaeróbia. Assim seu dimensionamento dependerá da configuração do reator e das características do substrato. Os sistemas de remoção de sedimentos são necessários para manutenção do excesso de lodo, visto que haverá o aproveitamento do mesmo em forma de biofertilizante. O dimensionamento também dependerá da configuração do reator, no entanto podem ser exemplificados como: sistemas de raspagem, roscas de remoção do fundo do biodigestor, utilização de bomba e agitador para descarga da camada de sedimentos ou até mesmo aparelho de enxágue (SENAI et al., 2016).

4.6.3 Terceira Etapa

Nesta etapa, ocorre o armazenamento e destinação do biofertilizante, lodo restante da biodigestão. Este pode ser armazenado em lagoas de estabilização ou tanques, os quais serão dimensionados de acordo com a velocidade de produção de biogás. De acordo com Naskeo (2014), o tempo mínimo de repouso do lodo deve ser entre 30 e 40 dias.

4.6.4 Quarta Etapa

O armazenamento, purificação e destinação do biogás são a última etapa. A formação de gases sulfurados com odor desagradável é inevitável no processo anaeróbio (SZYMANSKI, et. al, 2010). No biogás, além do metano há a presença de outros gases em menor volume, dióxido de carbono, vapor de água e oxigênio.

Dependendo da utilização deste, deve-se realizar a purificação do biogás em alta concentração de metano.

Os métodos de purificação são: dessulfurização, secagem, remoção do dióxido de carbono, separação do oxigênio, retirada de outros gases e adição de odorização, caso o biogás for utilizado na rede de gás canalizado, de acordo com a NBR 15.616. Existem muitos equipamentos e tecnologias para cada método de purificação, o dimensionamento de cada um deles é geralmente baseado no volume de biogás a ser purificado e na sua utilização final.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

As amostras foram retiradas do tanque de cozimento de madeira de uma indústria madeireira, de laminados, situada em Juína - MT, segundo a Norma ABNT NBR 9898:1987 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. As análises foram realizadas na cidade de Ponta Grossa – PR.

5.1.1 pH

Para a determinação do pH da amostra foi utilizado um peagômetro digital. O procedimento consistiu na retirada de uma alíquota da amostra de efluente e em seguida foi inserido o sensor do peagômetro na solução, aguardando o medidor estabilizar, determinando assim o valor do pH da amostra em triplicata.

5.1.2 Sólidos Totais

Esse método consiste na determinação da quantidade de sólidos presentes nas amostras desidratadas.

Para realizar o procedimento de determinação de sólidos totais, foi submetida uma cápsula de porcelana ao aquecimento de 550 °C na mufla por uma hora para eliminar qualquer umidade presente, em seguida levou-se ao dessecador

para resfriar e ao fim dessa etapa a cápsula foi pesada. Logo após esse procedimento, depositou-se 25 mL da amostra na cápsula e foi levada para estufa por 1 hora, para remover toda a água presente, resíduo remanescente foi pesado em uma balança analítica. Obtendo-se por meio da Equação (1), o valor de sólidos totais presentes (LOUGUN, 2009).

$$ST = \frac{(MS - MR) \times 1000}{VA} \quad (1)$$

Em que:

MS: Massa de amostra seca

MR: Massa do recipiente

VA: Volume da amostra

5.1.3 Sólidos Fixos

Após a realização da determinação dos sólidos totais da amostra, o resíduo obtido foi submetido à calcinação na mufla a uma temperatura de 550 °C por 1 hora. As cinzas resultantes da calcinação foram pesadas em uma balança analítica. OS valores de sólidos fixos (SF) foi calculado pela Equação (2):

$$SF = \frac{(MC - MR) \times 1000}{VA} \quad (2)$$

Em que:

MC: Massa de cinzas + cadinho

MR: Massa do Recipiente

VA: Volume da amostra

5.1.4 Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis estão associados à quantidade de compostos orgânicos presentes. De forma que, é um indicador da concentração de matéria biodegradável.

A determinação dos sólidos voláteis ocorre por meio de cálculos nos quais são utilizados os valores obtidos nas análises de sólidos fixos e sólidos totais.

Realizando a diferença entre os sólidos totais e os sólidos fixos foi obtido o teor de sólidos voláteis da mostra. A Equação (3) determina a quantidade de sólidos voláteis.

$$SV = ST - SF \quad (3)$$

em que:

SV= sólidos voláteis;

SF= sólidos fixos;

ST= sólidos totais;

5.1.5 DBO e DQO

A análise de DBO e DQO foi realizada no laboratório Interpartner na cidade de Ponta Grossa, que utilizou o método Hach de reator digestor para a determinação de DQO e o método respirométrico simplificado Oxitop® (Merck) para determinação de DBO.

5.1.6 Óleos e Graxas

Para a determinação de óleos e graxas na amostra foi utilizado o método de extração por solvente presente na norma L5.142 da CETESB de 1991, a qual classifica as amostras em três grupos A, efluente com quantidades de poluentes aparentemente pequenas, B, efluente proveniente de esgotos com uma maior quantidade de poluentes, e C, amostra sólidas ou semi-sólidas. O efluente que é objeto de estudo deste trabalho, foi considerado uma amostra do tipo A.

O método de extração consistiu em acidificar uma alíquota de 100 mL para um pH igual a 2, e a alíquota acidificada foi toda transferida para um funil de separação. Em seguida, foi adicionado 40 mL de hexano (solvente) e homogeneizado. A mistura decantou por aproximadamente 12 horas, para que ocorresse a separação de fases. Ao final da decantação, filtrou-se a fase contendo o solvente em papel filtro, recolhendo o filtrado em balão tarado. Repetiu-se o processo por mais uma vez, com um tempo de decantação de 2 horas apenas.

O filtrado recolhido no balão foi colocado em banho maria para evaporar o solvente, restando assim somente os óleos e graxas removidos da amostra. O balão foi pesado e assim determinado a quantidade de óleos e graxas presentes por litro de amostra (CETESB,1991).

5.1.7 Lignina

Foi determinada a lignina solúvel e a lignina precipitada para assim definir a lignina total presente na amostra. Seguiu-se os métodos de determinação de lignina expostos por Tomé (2009), conforme detalhamento abaixo.

Para realizar a determinação da lignina em meio ácido, foi separada uma alíquota de 200 mL e acidificada com H_2SO_4 até o pH 2,5 para que assim a lignina precipitasse após uma decantação de 20 horas. Ao fim dessa etapa, a solução foi homogeneizada e dividida em duas partes de igual volume (Solução I e Solução II). A Solução I foi filtrada, com o sólido retido no filtro foi determinado o teor de cinzas obtendo então a quantidade de lignina insolúvel, também chamada de lignina precipitada em meio ácido, presente na amostra.

Para a determinação da lignina solúvel, a Solução II foi centrifugada por 30 min. O sobrenadante foi retirado e adicionado ao filtrado da Solução I, homogeneizando essa nova solução. A solução foi submetida a uma análise espectrofotométrica por UV- Visível, sendo um comprimento de onda de 280 nm e água destilada como referência ótica.

5.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Para realizar o ensaio de coagulação foi utilizado como agente coagulante o Cloreto Férrico por se tratar de um produto de fácil aquisição e baixo custo. Foram realizados testes de coagulação utilizando três concentrações do agente coagulante: 20 ppm, 2000ppm e 4000 ppm.

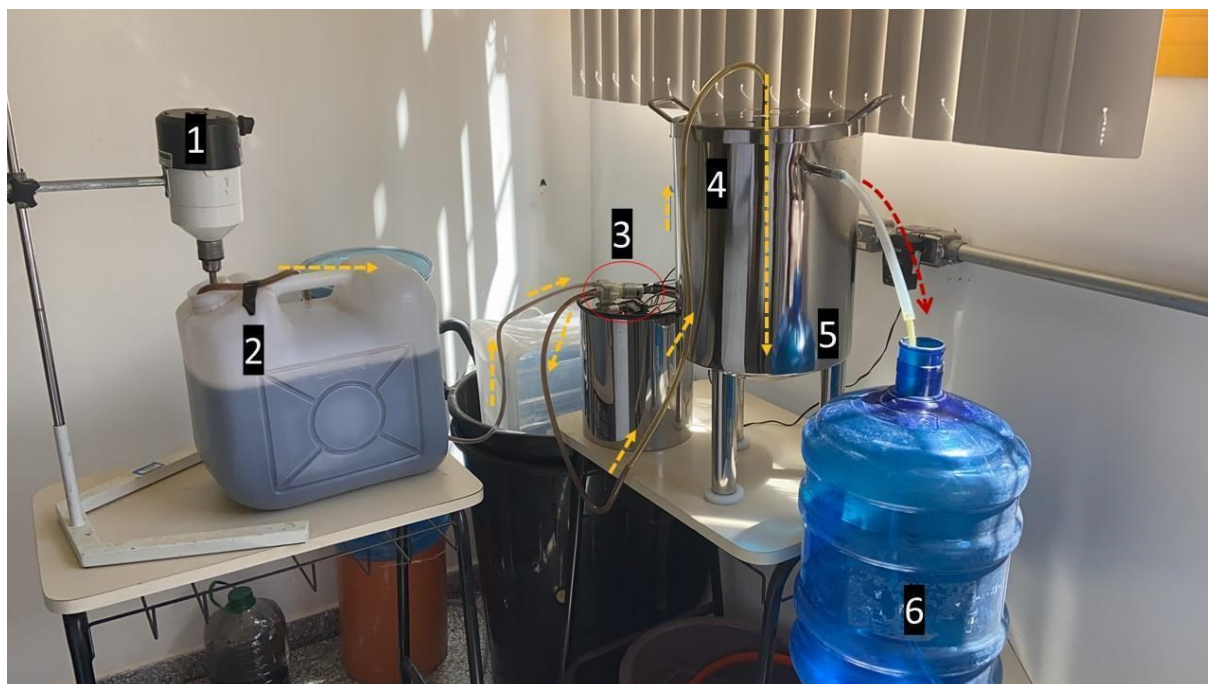
Foram separadas da amostra nove alíquotas, de 400 mL cada, para a realização desse teste. Nas três primeiras alíquotas foram adicionados 3 mL do coagulante de concentração 8 g/L, em outras três foram adicionadas 2 mL de

coagulante de concentração 400 g/L e nas três alíquotas remanescentes adicionou-se 4 mL de coagulante de concentração 400 g/L. Ao adicionar o coagulante as amostras foram submetidas ao agitador mecânico a uma velocidade 250 rpm por 15 segundos, para realizar a coagulação, em seguida manteve-se a agitação em 100 rpm por 15 minutos e seguida de decantação por 24 horas, para realizar a floculação. As amostras foram filtradas e as amostras foram encaminhadas ao laboratório para análise de DBO e DQO.

5.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de digestão foi realizado por meio de um reator anaeróbio piloto. A Imagem 3 representa o sistema utilizado para o experimento.

Imagem 3 - Esquema do experimento utilizando reator RALF piloto.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Segundo a Imagem 3 os itens numerados são descritos desta forma:

1. Agitador mecânico utilizado para homogeneizar a solução de efluente com uma rotação de 200rpm;
2. 16 L do efluente a ser tratado;
3. Bomba dosadora com regulagem de vazão manual para bombear o efluente no interior do reator;
4. Reator anaeróbio piloto com 20L de volume total para ocorrer a reação anaeróbia;
5. 2L do lodo utilizado como fonte de microrganismos para o tratamento;
6. Recipiente receptor de efluente tratado.

As flechas amarelas representam o fluxo do efluente tratado. O modelo RALF aplica o efluente de forma ascendente em relação ao reator. No ensaio, o efluente foi adicionado no fundo do mesmo, gerando-se o leito fluidizado, assim como descreve o método.

O experimento foi um modelo híbrido semelhante a um processo batelada anaeróbia, em série com dois ciclos. No primeiro ciclo foi realizado o experimento com o tempo de fermentação de 8 horas, no segundo ciclo, foram 12 horas de reação.

O tempo ideal de detenção hidráulica para esgotos domésticos no reator anaeróbio é cerca de 4 a 10 horas (CHERNICHARO, 1997), porém foi considerado um pouco maior no segundo ciclo pois a temperatura ambiente diminuiu.

O lodo utilizado foi coletado em uma empresa de tratamento de esgoto na cidade de Ponta Grossa – PR no dia 04/02/2021 e foi utilizado no experimento cerca de 20h após a sua coleta.

Ao retirar a segunda amostra tratada, a mesma foi transferida para um processo de filtração com *kitassato*, como demonstra a Imagem 4.

Imagem 4 - Esquema de filtração após o segundo tratamento do efluente.



Fonte: Autoria Própria (2021).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Utilizando-se a amostra bruta, realizou-se análises de pH, DBO, DQO e relação DBO/DQO no efluente industrial. Essas análises partiram da coleta de uma primeira amostra e tiveram como finalidade a determinação das condições iniciais do efluente para então compará-las às condições necessárias para o seu descarte (conforme Quadro 2), segundo a legislação vigente.

Quadro 2 - Parâmetros de caracterização da amostra vs. legislação

	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Relação DBO/DQO
Efluente	5	5.277,6	11.600	0,45
Limites CONAMA 430	5	< 120	4.640	-

Fonte: Autoria Própria (2021)

Por meio da relação DBO/DQO pode-se avaliar o melhor método de tratamento. Segundo Metcalf e Eddy (2003) se este valor for superior a 0,5, significa que é eficientemente tratado via biológica. Caso a relação DBO/DQO for inferior a 0,3, isto expressa baixa eficiência no tratamento biológico. A relação DBO/DQO encontrada pode ter sido impactada pela presença de componentes tóxicos ou por conta da necessidade de condicionar os microrganismos.

Visto que a relação DBO/DQO do presente efluente é 0,45, o tratamento biológico é viável, porém não é considerado um tratamento muito eficiente (inferior a 0,5). Justificando, portanto, o emprego de tratamento físico-químico combinado ao biológico.

6.1.1 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Ao observar a amostra decantada, a mesma não apresenta materiais flutuantes e os materiais sedimentáveis são virtualmente ausentes, correspondendo assim às exigências legais.

Realizou-se a análise de Sólidos Fixos, Voláteis e Totais em triplicata de duas alíquotas do efluente a fim de aumentar o conhecimento sobre a sua composição. Os resultados obtidos estão presentes no Quadro 3. Observando os valores encontrados, tem-se que o efluente possui em média 7,60 g/L de sólidos totais, o que equivale a 0,77% da amostra e desses sólidos somente 0,8% são sólidos fixos. Isto posto, podemos concluir que a quantidade de sólidos no efluente não representa um fator de preocupação para o seu lançamento em corpos d'água. Em relação a reação anaeróbia, a proporção de sólidos voláteis por sólidos totais

favorece a fermentação assim como a concentração total de sólidos (PESSUTI et al, 2015).

Quadro 3 - Sólidos fixos, totais e voláteis

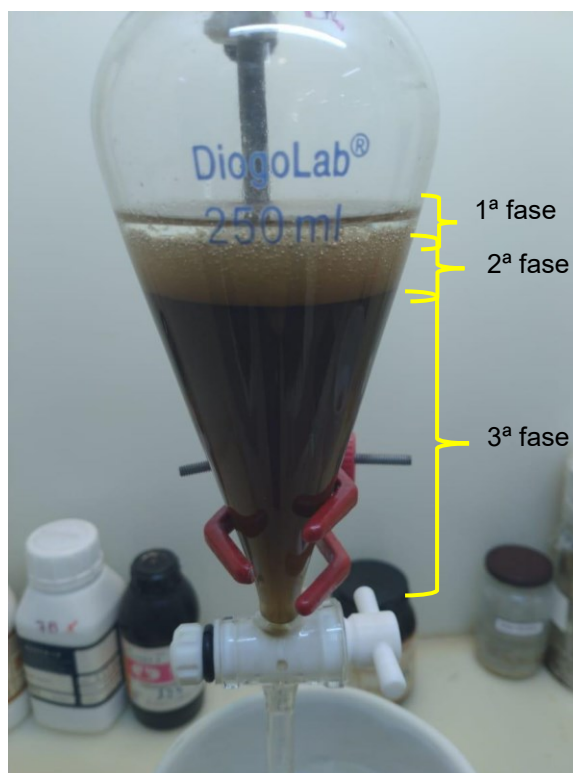
Amostra	Cadinho	Mcadinho (g)	Mamostra (g)	V amostra (L)	Mseco (g)	Mcalcina do (g)	Sólidos Fixos (g/L)	Sólidos Voláteis (g/L)	Sólidos Totais (g/L)
1	7	44,6189	24,732	0,025	44,811	44,6371	0,73	6,96	7,68
	8	46,5132	24,4848	0,025	46,7002	46,5318	0,76	6,87	7,63
	9	44,0227	24,5223	0,025	44,2127	44,0405	0,71	6,89	7,6
2	10	41,4756	24,6663	0,025	41,6629	41,4868	0,45	7,04	7,49
	11	33,5111	24,7797	0,025	33,7025	33,5246	0,54	7,12	7,66
	12	43,874	24,4794	0,025	44,0618	43,8873	0,53	6,98	7,51
Média	-	-	24,61	0,025	42,53	42,35	0,62	6,98	7,6
Desvio padrão	-	4,2129	0,1206	-	4,2120	4,2145	0,1178	0,0854	0,0718

Fonte: Autoria Própria (2021)

6.1.2 Óleos e Graxas

Em seguida, foi realizada a determinação de óleos e graxas presentes na amostra. Nessa análise, deveria ocorrer a separação em duas fases, uma contendo o solvente e outra aquosa, após o período de decantação, entretanto, observou-se a separação em três fases, sendo elas duas fases aquosas e uma coloidal, como podemos ver na Imagem 5.

Imagem 5 - Separação de fases



Fonte: Autoria Própria (2020).

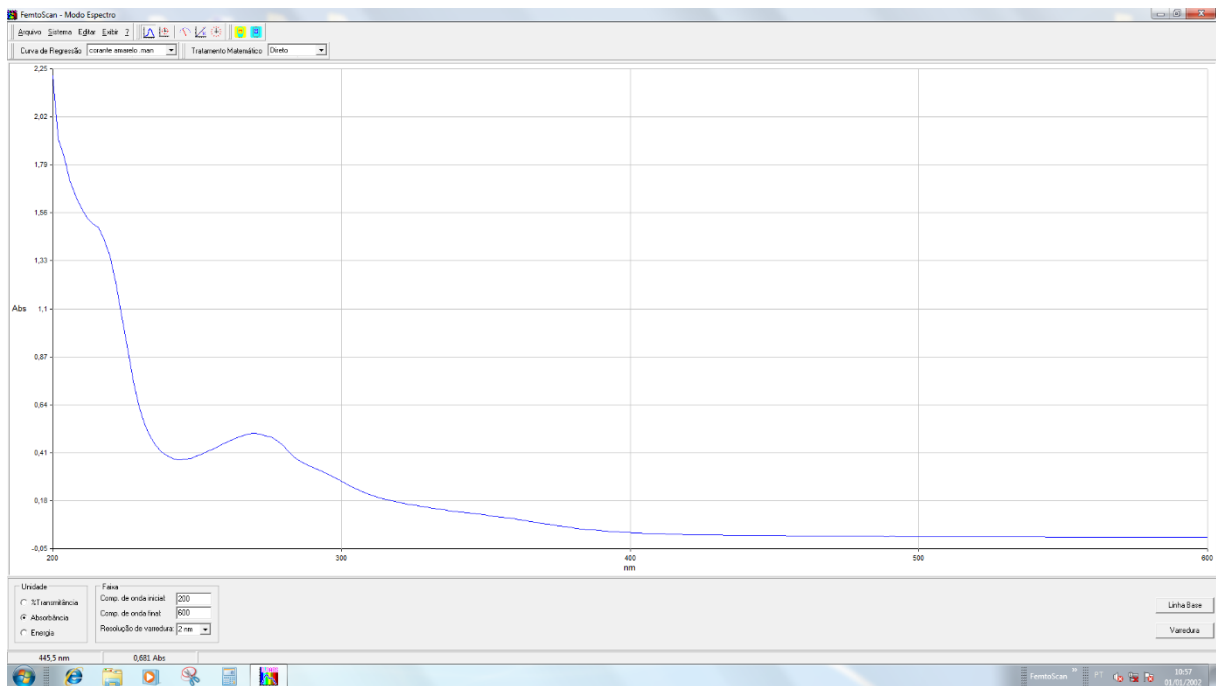
Como apresentado anteriormente, a amostra em questão se trata de um efluente do cozimento de madeira, conseqüentemente temos que esse efluente contém alguns compostos extraídos da madeira, sendo um deles a lignina. A lignina possui um comportamento anfifílico, de forma que possui uma pequena solubilidade em soluções polares e apolares (TOMÉ, 2009). Deste modo levantou-se a hipótese de que a presença de lignina no efluente pode ter ocasionado o aparecimento da fase coloidal ou um tempo insuficiente de separação.

Em decorrência de seu comportamento atípico, a análise trouxe resultados inconclusivos para a determinação de óleos e graxas, pois não houve a correta separação dos compostos, impossibilitando assim a determinação precisa da fração de óleos e graxas presentes. Este resultado expôs a necessidade da determinação da quantidade de lignina presente no efluente.

6.1.3 Lignina

A quantificação de lignina foi determinada por meio da soma de lignina insolúvel e lignina solúvel precipitada em meio ácido. Para a lignina insolúvel foi utilizado o espectrofotômetro para determinar a curva de absorvância da amostra, como retrata a Figura 10.

Figura 10 - Curva de absorvância do efluente



Fonte: Autoria Própria (2021).

Com o valor de absorvância da espécie de madeira Pinus apresentado na NREL – *National Renewable Energy Laboratory* (2000), foi possível quantificar a lignina presente na amostra, como demonstra o Quadro 4.

Quadro 4 - Quantificação lignina insolúvel e lignina solúvel

Quantificação Lignina (g/L)				
Lignina Insolúvel	Desvio Lignina Insolúvel	Lignina Solúvel em meio Ácido	Desvio Lignina Solúvel em meio Ácido	Lignina Total
0,135	0,03	0,089	0,01	0,225

Fonte: Autoria Própria (2021)

Para realizar a comparação entre efluentes semelhantes nos parâmetros DQO e concentração de lignina, pode-se analisar a vinhaça, resíduo proveniente da produção de açúcar e etanol de cana-de-açúcar, utilizada para biodegradação anaeróbia e conseqüente produção de gás metano. A vinhaça possui alta DQO, entre 20.000 e 35.000 mg/L (SZYMANSKI; BALBINOT; SCHIRMER, 2010). Porém a quantidade de lignina é indetectável inclusive devido à ausência desta, a produção de biogás é mais atingível comparada a outros substratos ricos em lignina (PARSAEE *et al.*, 2019).

Outros autores defendem o uso do bagaço de cana como substrato da reação anaeróbia, neste caso tem-se um teor representativo de lignina, cerca de 11% em massa seca (AGUIAR *et al.*, 2010). Todavia os estudos que envolvem degradação da lignina nos resíduos da indústria sucroalcooleira utilizam o emprego de enzimas específicas, diferentemente do nosso caso.

Tomé (2009) realizou estudos sobre biodegradação anaeróbia da dreche cervejeira, resíduo da produção de cerveja (bagaço), e usou como parâmetros a DQO e lignina. A amostra inicial da dreche possuía 16,9% de lignina em massa seca, enquanto o efluente aqui estudado possui cerca de 3%. Deve-se lembrar que a dreche possui resíduos sólidos lignocelulósicos, logo maior concentração de lignina. O autor afirma que a presença de matéria orgânica, após biodegradação da dreche, pode ter sido originada pela concentração de lignina residual (entre 0,068 e 0,24 g/L) na amostra (lignina que não foi degradada), justificando a deficiência na remoção da DQO. Portanto, ainda segundo Tomé (2009), mesmo que em baixas concentrações,

a lignina pode trazer baixa eficiência na remoção de DQO e conseqüentemente na DBO.6.2 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

O efluente bruto foi submetido ao tratamento primário para remover uma parte da lignina assim como reduzir a DBO e a DQO, antes de ser submetido à etapa de digestão buscando facilitar o tratamento final.

O processo de coagulação e floculação consiste basicamente em misturar a amostra com o agente coagulante, que possui caráter básico, agitar e decantar. Esse processo faz com que o agente coagulante se junte com as moléculas de impurezas, decantando e purificando a amostra. Esse método foi aplicado na tentativa de reduzir a DBO e DQO, tendo como referência o estudo realizado pela Beatriz Garbim (2017), que obteve melhores resultados no tratamento de seu efluente usando como agente coagulante o cloreto férrico. Por se tratar de um processo de fácil implementação, se caso se demonstrasse eficaz, é um processo de tratamento viável para que a empresa aplicasse em seu efluente.

Entretanto, em contramão aos resultados esperados, a coagulação utilizando cloreto férrico nessas concentrações não demonstrou diferença imediata na coloração (Imagem 6) e após a filtração não foi constatado quantidades significativas de precipitado/lodo (Imagem 7).

Imagem 6 - Coloração das amostras após floculação



Fonte: Autoria Própria (2020)

Imagem 7 - Filtrado após floculação



Fonte: Aatoria Própria (2020)

Após a realização desse experimento foram retiradas as alíquotas e enviadas ao laboratório para análise de DQO e DBO. As amostras não apresentaram redução nos valores desses parâmetros.

A lignina isoladamente possui uma coloração bege clara ou incolor, entretanto possui uma reatividade grande e uma tendência à formação de grupos cromóforos. O armazenamento de rejeitos e condições anormais de cozimento da madeira são situações que provocam reações nos grupos cromóforos presentes que acarretam no escurecimento e na alteração da cor das amostras (ANDRADE; KLOCK,2013).

Silva (2019), apresenta em sua tese um ensaio de degradação da lignina a partir do lixiviado alcalino gerado no processo de etanol celulósico da cana-de-açúcar. Nesse ensaio, conforme a amostra foi submetida ao aumento de temperatura, ocorreu o escurecimento do material. Segundo Rowell (2013), ao expor a madeira à degradação fotoquímica, o composto que primeiramente sofre degradação é a lignina sendo esse o principal fator que causa a variação de cor.

Em processos de coagulação e floculação em efluentes que apresentam coloração, ocorre a diminuição da turbidez do efluente e conseqüentemente a

remoção da cor, como podemos ver no trabalho desenvolvido por Garbim (2017) utilizou diferentes concentrações do coagulante cloreto férrico como método de tratamento de um efluente bruto de uma indústria de MDF com valores de DBO e DQO em, respectivamente, 27.000 mg/L e 13.000 mg/L (Imagem 8), obtendo uma redução de 78,12% da DBO.

Imagem 8 - Remoção da turbidez por meio da coagulação de Garbim (2017)



Fonte: Garbim, 2017

Ao realizar de forma semelhante o processo de coagulação e floculação no efluente abordado neste trabalho, têm-se que sua coloração não se altera, assim como não há a formação de uma camada expressiva de precipitado, nem ocorreu a redução dos valores de DBO. Evidenciando que não foi realizada a remoção dos contaminantes do efluente.

6.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Como o processo de tratamento primário via coagulação/floculação não foi eficiente, partiu-se para a reação anaeróbia utilizando a solução original do efluente em estudo. Para esse processo, utilizou-se uma segunda amostra do efluente, pois o volume necessário para o ensaio era maior do que o volume obtido para realização da caracterização. Desta forma, o efluente apresentou um valor de DQO diferente da primeira amostra, como descreve a Tabela 2.

Tabela 2 - DQO do Efluente antes e após tratamentos

	DQO (mg/L)	Redução (%)
Original	6704,2	-
Após 1º Ciclo	5937,2	11,44%
Após 2º Ciclo	5146,5	23,23%

Fonte: Autoria Própria (2021)

A DBO não foi mensurada na segunda amostra, pois a compreensão do rendimento do tratamento biológico em um estudo preliminar somente utilizando a DQO como parâmetro é suficiente.

Este sistema apresentou baixo rendimento da efetividade da remoção de DQO. Para assegurar que a reação de digestão ocorra de uma maneira mais eficiente, deve-se determinar mais detalhadamente a composição do efluente como a quantidade de carboidratos presentes, e desta forma analisar a necessidade da inserção de elementos complementares e realizar uma co-digestão.

Portanto, outra alternativa seria testar a viabilidade de adição de uma etapa aeróbia ao tratamento, pois esta tende a ser mais eficiente que a anaeróbia com a desvantagem de requerer grandes quantidades de energia elétrica para seu funcionamento. A massa biológica manipulada disponível para os ensaios, lodo, é totalmente anaeróbia, como o experimento se aproximou de uma simulação batelada, conjuntamente possibilitou o resultado abaixo do esperado.

O lodo utilizado no experimento também pode ter influenciado nos resultados, tendo sido mantido dentro do reator por cerca de 20 horas, antes do início da reação. Porém como o reator utilizado não possui controle de temperatura, a variação da temperatura pode ter induzido alteração no rendimento do tratamento. Quando há excesso de sólidos suspensos e população microbiana, a relação alimento por microrganismos (A/M) é desequilibrada de forma que ocorre a competição dos microrganismos por nutrientes podendo até ocorrer canibalismo

entre os mesmos, logo o mesmo pode ter ocorrido em nosso lodo, pois se manteve por muito tempo sem substrato (FOELKEL, 2014, p. 35).

Imagem 9 - Cor do efluente antes, entre e após tratamento



Fonte: Autoria Própria (2021)

Outro resultado obtido é em relação à coloração da amostra que não apresentou alteração após o processo de digestão, como pode-se constatar na Imagem 9.

Uma sugestão de alternativa para aumentar a eficácia do tratamento é a implementação de um pré-tratamento, como uma hidrólise ácida ou a realização de um tratamento enzimático para a remoção da lignina e demais componentes tóxicos que podem estar presentes no efluente.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, testou-se tratamento de um efluente originado da indústria madeireira utilizando coagulação/floculação e lodo ativado anaeróbio, separadamente, após a determinação de alguns parâmetros deste.

Para quantificação da lignina foram encontradas análises semelhantes de resíduos lignocelulósicos, em sua maioria para sólidos. Sendo assim, a comparação entre os resultados encontrados e os resultados da literatura é um fator dificultador para realização da análise.

As análises preliminares de caracterização do efluente (relação DBO/DQO) expôs a necessidade de submetê-lo a um tratamento biológico combinada a um tratamento físico-químico, a fim de reduzir os valores da carga orgânica presente, sendo esse considerado um poluente no seu descarte em corpos receptores d'água. Logo, optou-se por tratamento de coagulação/floculação antes de submeter o efluente ao reator anaeróbio. Entretanto, os resultados foram inconclusivos.

O efluente apresentou frações de lignina, grande quantidade de sólidos dissolvidos (cor), difícil coagulação nas condições testadas e poucos sólidos totais. A alta carga orgânica impossibilitou a utilização de processos suscetíveis ao crescimento microbiológico. A presença da lignina dificulta a etapa de hidrólise na reação anaeróbia, impedindo a redução da DBO e DQO, assim como a sua coagulação.

Buscando realizar uma remoção eficiente da carga orgânica, foram aplicados testes em um reator anaeróbio. O modelo híbrido utilizado nos ensaios necessita de aperfeiçoamento no processo (aeróbio/anaeróbio, batelada/contínuo) e no emprego do lodo. Ao realizar o ensaio de digestão em dois ciclos, obteve-se a remoção de no máximo 23% da DBO/DQO, não sendo possível atender aos parâmetros da legislação vigente. Portanto deve-se haver estudos futuros para atingir a redução dos parâmetros de DQO/DBO deste efluente em um sistema semelhante ou combinado com outros tratamentos.

Ao mesmo tempo, é sugerida a definição de outros parâmetros no efluente como, teor de carboidratos, concentração de celulose e hemicelulose, substâncias tóxicas que impossibilitam o crescimento microbiológico. Deve-se também explorar as condições para a realização da digestão, encontrando a melhor proporção entre lodo e efluente, o tempo de reação ideal, a necessidade da utilização da co-digestão ou a associação a um sistema aeróbio.

Quando os despejos de efluente são intermitentes, por exemplo, em indústrias que trabalham somente 8 horas pode haver apenas um reator que possui

a etapa de enchimento durante as 8 horas de produção, e durante as outras 16 horas poderão ser realizadas as outras etapas do processo batelada. A indústria que cedeu o efluente se encaixa nesta situação com funcionamento diário de 8h e vazão de 0,6 m³/h, justificando a aplicação de um processo batelada.

REFERÊNCIAS

- ABIMCI. **Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/pt/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 9490: Lâminas e compensados de madeira – Terminologia**. São Paulo, 1986a.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 9531: Chapas de madeira compensada: Classificação**. São Paulo, 1986b.
- ABREU, Fabrício G. et al. **LIGNOSSULFONATO DE AMÔNIO/PE-g-MAIOn: AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA**. -. Seropédica, p. 1-10. 2007
- AGUIAR, M. M.; FERREIRA, L. F. R.; MONTEIRO, R. T. R. **Use of Vinasse and Sugarcane Bagasse for the Production of Enzymes by Lignocellulolytic Fungi. Brazilian Archives of Biology and Technology Journal**. v. 53. n. 5. p. 1245-1254, September-October 2010. Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP – Brasil.
- AGUIAR, Omar José Romeiro de. **A indústria de lâminas e compensados no contexto madeireiro da floresta amazônica brasileira**. Belém: Embrapa, 1992.
- AMAZONIA, Ipam; CARBON, O Que é e Como Funciona O Mercado de Carbono? O Mercado de. **O que é e como funciona o mercado de carbono?** Disponível em: <<https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, ET AL. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. Vol. 22; 2013.
- ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, Uberlândia, 2017.
- ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 42 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

ARCHELA, Edison et al. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. Geografia - Volume 12**, Londrina, p.02-04, jun. 2003.

BALMANT, Wellington. **Concepção, Construção E Operação De Um Biodigestor E Modelagem Matemática Da Biodigestão Anaeróbica**. 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARRETO-RODRIGUES, Marcio; AGUIAR, Caroline M.; CUNHA, Mário A.a. da. **Biotreatment of an effluent from a wood laminate industry using Lentinula edodes**. UEC 2019. **Journal of Hazardous Materials**, Pato Branco, v. 164, n. 2-3, p.1556-1560, 30 maio 2009. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.044>.

BAÚ, Daniel Fernando. **Biodigestores: Alternativa Energética na Otimização da Produção Agrícola**. 2015. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

BNDS. **Biogás De Resíduos Agroindustriais: Panorama E Perspectivas**. São Paulo, 2018. 55 p.

BONTURI, Guilherme de Luca; VAN DIJK, Michel. **Instalação De Biodigestores Em Pequenas Propriedades Rurais: Análise De Vantagens Socioambientais**. 2012. Disponível em:
<http://www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/sites/www.ib.unicamp.br.site.dep_biologia_animal/files/20.%20INSTALAÇÃO%20DE%20BIODIGESTORES.pdf>.
Acesso em: 8 jun. 2019.

BRIZZI, Priscila da Silva. **Extração da lignina do bagaço de cana-de-açúcar e seu emprego na melhoria da resistência a compressão do cimento odontológico**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Ufpr, Londrina, 2017.

BRUMANO, Gabriel de Castro Baião. **UM NOVO MÉTODO ANALÍTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA EM PRODUTOS VEGETAIS**. 2015. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2007.

DEGANUTTI, Dr. Roberto et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês E Batelada**. 2018. Disponível em:
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

FERON, Guilherme Lahm. **Estudo do efluente de cozimento de pinus visando o reaproveitamento de subprodutos**. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2016.

FERREIRA, Célio Armando Palheta. **Análise econômica do setor madeireiro do estado do paraná. Análise Econômica do Setor**, Belém, v. 168, n. 1, p.1-5, mar. 1998.

FNR. **Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização**. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Leipzig, 2010.]

FOELKEL, Celso. **Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto: Processos Aeróbicos por Lodos Ativado para Tratamento de Efluentes**. Eucalyptus Online Book e Newsletter, 2014. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT34_Lodos_Ativados.pdf.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2021.

FRIGO, Késia Damaris de Azevedo et al. **Biodigestores: seus modelos e aplicações**. *Acta Iguazu*, Bauru, v. 4, n. 1, p.57-65, maio 2015.

FRITZ JUNIOR, Denilton Da Conceição. **Estudo de caso: viabilidade de implantação de biodigestor no Instituto João XXIII na cidade de Ponta Grossa/PR**. 2015. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

FUKUSHIMA, Romualdo S. *et al.* **UM NOVO MÉTODO ANALÍTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIGNINA EM PRODUTOS VEGETAIS**. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE MÉTODOS DOS LABORATÓRIOS DA EMBRAPA. Jaguariúna. 2003.

GARBIM, Beatriz Gatti. **Tratamentos De Efluente Industrial Com Elevada Carga Orgânica**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

GARCIA, Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges. **Controle Da Qualidade De Efluentes - Conama, Limites Especificados E Controles Analíticos E Indicadores De Contaminação: Situação Atual E Tendências**. Aracaju, 2015. Color.

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

GONÇALVES, S. L. F.; ALMEIDA, A. R. C. **A indústria de laminados e compensados de madeira no estado do Amazonas: um cenário do processo produtivo e tendências para o próximo milênio**. Enegep. Artigo 388. Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, 1998.

GONÇALVES, Sérgio Luiz Ferreira. **Análise da indústria do segmento laminados e compensados do estado do Amazonas**. 1998. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

GONÇAVES, Guilherme Lopes Fratteezi. **Biodigestores: Uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto**. 2012. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialização em Atenção Básica em Saúde, Universidade Federal de Minas Gerais, Araçuaí, 2012.

HEYDT, A. R. et al. **Biodigestão Anaeróbia De Resíduos Líquidos De Fecularia Com Adição De Glicerol Em Fase Termofílica**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [s.l.], v. 4, n. 1, p.498-515, 16 dez. 2015. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL.
<http://dx.doi.org/10.19177/rqsa.v4e02015498-514>.

IBÁ. **Cenários IBÁ**. Ed. 64, 4º trimestre de 2020. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/64-cenarios.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

IWAKIRI, Setsuo. **Laminação de Madeiras**. Curitiba, 2009. 101 slides, color. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/2.ppt>. Acesso em: 15 maio 2019.

KLOCK, U. **Lignina**. Disciplina de Química da Madeira. Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de. **QUÍMICA DA MADEIRA**. 4. ed. Curitiba: Ufpr, 2013.

LAMINORT. **Lâminas**. Disponível em:< <http://www.laminort.com/laminas/>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

LEGNER, Carla. **A Importância Da Análise De Efluentes**. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/203/a-importancia-da-analise-de-efluentes>. Acesso em: 19 maio 2021

LIMA, Daniel Ferreira dos Santos; MIRANDA, Gilberto J.. **Análise da viabilidade econômico financeira do aproveitamento dos gases de biodigestores para produção de energia elétrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 20., 2013, Uberlândia 2013. p. 03 - 13.

LOUGON, Marcela Silva *et al.* CARACTERIZAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS GERADAS PELA LAVAGEM DOS FRUTOS DO CAFEEIRO. **Encontro Latino Americano de Iniciação Científica**, Jeronimo Monteiro, abr. 2009.

MARCONI, R.G. **Definição do ciclo operacional de um reator sequencial em batelada aeróbio (SBR) para tratamento de esgoto sanitário.** 2001. 147 f. Dissertação (Mestrado). – Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.

MASSI, Luciana et al. **Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas.** *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 1, p.21-24, maio 2008.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

MEYER, Bruno Edward; RIBEIRO, Juliano Estevan; POMBO, Vinicius. **Análise De Viabilidade Técnica De Um Sistema De Produção De Biogás A Partir Da Digestão Anaeróbia De Dejetos Suínos.** 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

MEYER, S. A. S. **Aproveitamento de Água Residuária Tratada e Lodo Físico-Químico Provenientes da Produção de Painéis de MDF.** 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MOREIRA, M.P; YAMAKAWA, C.S.; ALEGRE, R.M. **Adição de Fonte de Carbono no Início da Fase Anóxica na Remoção de Macronutrientes e DQO por Lodo Ativado Usando RBS no Tratamento de Água Residuária Avícola.** *Engenharia Sanitária e Ambiental.* v.7,n. 2, p.16-20, 2002.

MORI, Cláudia Lopes Selvati de Oliveira; MORI, Fábio Akira; LIMA, José Tarcísio; TRUGILHO, Paulo Fernando; OLIVEIRA, Adalberto Caldas. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 123, 30 jun. 2004. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981812>.

NASKEO. **Biogas plant process.** Publicado em: 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=R-LodJK-yel>>. Acesso em: jun 2019.

NUNES, Janaina Ferreira. **Estudo Da Sedimentação Gravitacional De Suspensões Floculentas.** 2008. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário.** 2004. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OMECCO. **Omeco Indústria e Comércio de Máquinas LTDA**. Disponível em: <<http://omeco.com.br/index.php>>. Acesso em: 15/05/2019.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. **Biodigestão Anaeróbia Dos Resíduos Da Produção Avícola: Cama De Frangos E Carcaças**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 30, n. 3, p.546-554, maio 2010.

PARSAEE, M.; KIANI, M. D. K.; KARIMI, K. **A review of biogás production from sugarcane vinasse**. Biomass and Bioenergy. v. 122. p. 177-125, 2019. Elsevier <<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>>.

PEREIRA, E. S. **Análise quantitativa de resíduos sólidos gerados durante processo de lâminas faqueadas de madeira**. Dissertação (Mestrado) – Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, 2016.

PEREIRA, Regina Paula Willemen. **Sistemas modelos de formação de lignina utilizando recursos sintéticos e celulares de Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden)**. 2009. 172 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

POLZL, Willian Borelli. **Eficiência produtiva e econômica do segmento industrial da madeira compensada no estado do paraná**. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2003.

QUÍMICA DA MADEIRA (4^a. Edição revisada) Umberto Klock Eng. Florestal, Dr., Prof. Associado Alan Sulato de Andrade Eng. Ind. Madeireiro – Dr. Prof. Adjunto]

RAJESHWAR V. (2000). **State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment**. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.4, p.135-156.

RIBEIRO, Deyvid da Silva. **Determinação Das Dimensões De Um Biodigestor Em Função Da Proporção Gás/Fase Líquida**. Holos, Natal, v. 1, n. 27, p.1-8, 2011.

ROSA, M. A. **Tratamento de Efluente de Indústria Papeleira por Processo Combinado Químico (Ozonização) e Enzimático (Lacase)**. 2004. 70 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ROWELL, R. M.. Chemical Modification of Wood. **Handbook Of Engineering Biopolymers**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 673-691, 3 maio 2007. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <http://dx.doi.org/10.3139/9783446442504.022>

SENAI, PR *et al.* **Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná.** Curitiba: [s. n.], 2016.

SILVA, Felipe Souto da. **ESTUDO DE APLICAÇÃO DA LIGNINA COM ENFOQUE EM FIBRA DE CARBONO.** 2019. 245 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, G. A.; SANTOS, I. F. **Produção de laminas decorativas produzidas por faqueamento.** Revista da Madeira. Ed.: 80, Abril de 2004.

SILVEIRA, G. E. **Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais.** 2010. 36f. Trabalho de Conclusão em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

SILVEIRA, Gustavo Echenique. **Sistemas De Tratamentos De Efluentes Industriais.** 2010. 42 f. TCC - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SINDIMADE. **Historia da industria madeireira.** Disponível em: <https://www.sindimade.net.br/index.php/o-setor>. Acesso em: 10 maio 2021.

STEINMETZ, Ricardo. **Geração e utilização de biogás a partir de resíduos agropecuários.** [s.i]: Embrapa, 2018. Color.

SZYMANSKI, Mariani Silvia Ester; BALBINOT, Rafaelo; NAGEL, Schirmer Waldir. **Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso.** Semina: Ciências Agrárias, 2010, 31 (Outubro-Dezembro)

TANNER, Chris C. *et al.* **Constructed wetlands and denitrifying bioreactors for on-site and decentralised wastewater treatment: Comparison of five alternative configurations.** *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 42, p.112-123, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.01.022>.

TELLES, Dirceu D'alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reúso da Água.** São Paulo: Blucher, 2010. Cap. 2. p. 19-25.

TERUYA, Leila Cardoso. **Filtração Simples.** 2012. Disponível em: <http://labiq.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=4&idTopico=68#.XQqHUcTQjIV>. Acesso em: 05 jun. 2019.

TOMÉ, A. S. F. **Estudo da biodegradabilidade anaeróbia de compostos lenhocelulósicos e da recuperação dos produtos residuais.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado). – Curso de Química, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2009.

UFRJ, Centro Experimental de Saneamento Ambiental da. **Reator UASB**. Disponível em:
<<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/infraestrutura/reator-usab>>.
Acesso em: 18 jun. 2019.

UFSC. **Ensaio De Sedimentação**. 2012. Disponível em:
<https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1190778/mod_resource/content/6/ENSAIOS%20DE%20SEDIMENTACAO.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VALENTE, Victor Bustani. **Análise De Viabilidade Econômica E Escala Mínima De Uso Do Biogás De Reatores Anaeróbios Em Estações De Tratamento De Esgoto No Brasil**. 2015. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.