



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO ACADÊMICO EM AGROENERGIA

**TÁSSIA ALVES FERNANDES FLEXA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ETANOL SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE  
LODO PROVENIENTE DE INDÚSTRIA DE MDF UTILIZANDO DIFERENTES  
PRÉ-TRATAMENTOS**

PALMAS - TO  
2019

**TÁSSIA ALVES FERNANDES FLEXA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ETANOL SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE  
LODO PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE MDF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Emerson Adriano Guarda

Coorientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS - TO

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

F619a Flexa, Tássia Alves Fernandes.

Avaliação do potencial de etanol segunda geração a partir de lodo proveniente de indústria de mdf utilizando diferentes pré-tratamentos. / Tássia Alves Fernandes Flexa. – Palmas, TO, 2019.

53 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2019.

Orientador: Emerson Adriano Guarda

Coorientador: Marcelo Mendes Pedroza

1. Lodo. 2. Celulose. 3. Bioetanol. 4. Pré-tratamento. I. Título

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ETANOL SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE  
LODO PROVENIENTE DE INDÚSTRIA DE MDF UTILIZANDO DIFERENTES  
PRÉ-TRATAMENTOS**

**ALUNO:** Tássia Alves Fernandes Flexa

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Presidente:**

---

Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda (Presidente da comissão)

**PPGA- UFT**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Lucila Tonani de Siqueira (Examinadora interna)

**PPGA- UFT**

---

Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza (Examinador externo)

**IFTO**

**Data da Defesa:** 14/10/2019

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da Dissertação foram contempladas:

---

Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda (Presidente da comissão)

**PPGA- UFT**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus e aos meus familiares, esposo Luís Augusto, mãe Célia Maria e a minha filha Júlia Sophia, que foram de suma importância para que eu pudesse dá início e principalmente concluir o mestrado para a minha qualificação profissional. Meus agradecimentos se estendem ao meu professor e orientador Dr. Emerson Adriano Guarda, ao professor e coorientador Dr. Marcelo Mendes Pedroza, a professora e avaliadora Dr<sup>a</sup> Flávia Tonani, por toda dedicação e apoio ao meu trabalho de pesquisa; toda a equipe do laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (Lapeq) e de solos da Universidade Federal do Tocantins *campus* Palmas, cujas análises laboratoriais do presente trabalho foram realizadas. À todos os colegas do mestrado turma 2017 que contribuíram positivamente nesse processo, muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado parcialmente com o apoio de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

À todos meu muito obrigada!

## RESUMO

O Etanol de Segunda geração (2G) é um biocombustível obtido a partir de biomassas lignocelulósicas e que tem no seu processo uma etapa denominada pré-tratamento, cuja finalidade está em disponibilizar os açúcares que estão na sua forma mais complexa. O pré-tratamento é de suma importância para as posteriores fases de obtenção do etanol 2G. No entanto não há condição perfeita para diferentes biomassas, sendo necessária a pesquisa voltada para diferentes biomassas e conseqüentemente de pré-tratamentos voltadas à elas. As biomassas estudadas para esse fim são de origem vegetal, tais como o sorgo sacarino, capim elefante e resíduos como o bagaço da cana-de-açúcar e a casca de arroz. O lodo, resíduo proveniente de Estações de Tratamento de Águas (ETA) e/ou de Esgotos (ETE), domésticos ou industriais, tem nas suas composições diferentes constituintes que os remetem à sua origem. Baseado nessa premissa, o presente trabalho teve como objetivo avaliar um lodo advindo de uma ETE de uma indústria de MDF, a fim de identificar a presença de celulose e seu respectivo potencial para obtenção de etanol 2G a partir de diferentes pré-tratamentos. As análises experimentais foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ), e no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas. Para análises estatísticas, foram realizadas triplicatas com desvio médio padrão para a caracterização da biomassa e o Delineamento Inteiramente Casualizado com 3 tratamentos e 5 repetições para obtenção de glicose e leitura por Cromatógrafo Líquido. O material analisado apresentou teor celulósico igual a 12,89 % e, apesar do baixo rendimento enzimático nos diferentes tratamentos, àquele que melhor apresentou concentração de glicose foi o físico-químico. Conclui-se que o material lignocelulósico estudado apresenta potencial para obtenção de etanol, uma vez que apresentou celulose passiva de conversão em glicose e conseqüentemente em etanol. Além de ser um material residual que pode ser reaproveitado para fins energéticos é uma alternativa de destinação final e minimização dos impactos ambientais causados pelo seu descarte.

**PALAVRAS CHAVES:** Lodo, celulose, bioetanol, pré-tratamento, MDF.

## ABSTRACT

Second Generation Ethanol (2G) is a biofuel obtained from lignocellulosic biomass and has in its process a stage called pretreatment, whose purpose is to provide sugars that are in their most complex form. Pretreatment is of paramount importance for the later stages of obtaining 2G ethanol. However, there is no perfect condition for different biomasses so it is necessary to search for different biomasses and consequently pre-treatments aimed at them. The biomasses studied for this purpose are of vegetable origin, such as saccharin sorghum, elephant grass and residues such as sugarcane bagasses and rice husks. Sludge, waste from domestic or industrial sewage treatment plants (ETA) and/or sewage (ETE), has in its compositions different constituents that refer them to their origin. The experimental analyzes were performed at then Environmental Chemistry and Biofuel Research Laboratory(LAPEQ), and the Soil Laboratory of the Federal University of Tocantins, Campus Palmas. For statistical analysis, triplicates were performed with mean standard deviation for biomass characterization and a completely randomized design with 3 treatments and 5 replications to obtain glucose and reading by Liquid Chromatograph. The material analyzed presented cellulosic content equal to 12,89% and, despite low enzymatic yield was the different treatments, the one that presented better glucose concentration ws the physic chemical. It is concluded that the studied lignocellulosic material has potential to obtain ethanol, since it presented passive conversion cellulose in glucose and consequently in ethanol. Besides being a waste material that can be reused for energy purposes, it is an alternative for final disposal and minimization of the environmental impacts caused by its disposal.

**KEY WORDS:** Sludge, cellulose, bioethanol, pretreatment, MDF.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Estrutura recalcitrante da biomassa lignocelulósica.	18
<b>Figura 2:</b> Processo industrial de produção de painéis MDF.	24
<b>Figura 3:</b> Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente da indústria de MDF.	27
<b>Figura 4:</b> Esquema dos processos realizados com a biomassa.	30
<b>Figura 5:</b> Conversão estequiométrica da glicose a etanol e dióxido de carbono (equação de Gay-Lussac).	37



## LISTA DE TABELAS

<b>Gráfico 1:</b> Teor de glicose encontrado nos diferentes tratamentos	40
<b>Gráfico 2:</b> Rendimento de hidrólise nos diferentes tratamentos	42
<b>Tabela 1:</b> Composição das principais matérias primas para produção de etanol lignocelulósico	16
<b>Tabela 2:</b> Efeitos de vários métodos de pré-tratamentos no material lignocelulósico	20
<b>Tabela 3:</b> Condições cromatográficas na determinação dos carboidratos	36
<b>Tabela 4:</b> Caracterização do Lodo	38
<b>Tabela 5:</b> Quadro ANAVA com os resumos dos valores referentes ao Delineamento Inteiramente Casualizado	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de energia Elétrica	11
GEE - Gases do Efeito Estufa	11
MDF - Médium Density Fiberboard	12
ETE - Estação de Tratamento de Efluentes	12
ANP – Agência Nacional de Petróleo	14
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento	14
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos	14
2G - Segunda Geração	15
PAISS - Plano de Apoio Conjunto à Inovação Tecnológica Agrícola	15
Finep – Financiadora de Inovação e Pesquisa	15
Bioen - Programa de Pesquisa em Bioenergia	15
EUA – Estados Unidos da América	15
ABIPA - Associação Brasileira da Indústria de Madeira de Painéis de Madeira	23
ABNT – Agência Brasileira de Normas Técnicas	23
NBR – Norma Brasileira	23
RUF - Resina Uréia Formaldeído	25
LAPEQ - Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis	29
MR - Massa do Recipiente	30
MAU - Massa da Amostra Úmida	30
MRAU - Massa do conjunto Recipiente/Amostra Úmida	30
MRAS - Massa do conjunto Recipiente/Amostra Seca	30
TU - Teor de Umidade	30
MA - Massa da Amostra	30
MRAC - Massa do conjunto Recipiente/Amostra Calcínada	31
TC - Teor de Cinzas totais	31
MRE - Massa do conjunto Recipiente/Extrativos	31

MRRS - Massa do conjunto Recipiente/Resíduo de Solvente	31
TE - Teor de Extrativos	32
MFL - Massa de Lignina	32
MFC - Massa do Funil com Cinzas	32
TLI - Teor de Lignina Insolúvel	32
MF - Massa do Funil Limpo	33
MA - Massa da Amostra	33
MFH - Massa do Funil somada à massa de Holocelulose	33
TH - Teor de Holocelulose	33
MAH - Massa da Amostra de Holocelulose	34
MFA - Massa do Funil somada à massa de Alfacelulose	34
TA - Teor de Alfacelulose	34
CML - Concentração do Material Lignocelulosico	35
g/L - Gramas por Litro	35
FT - Fator de conversão de celulose	35
CLAE - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência	35

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO</b>	
<b>2.1.</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>12</b>
<b>2.2.</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
<b>3.1.</b>	<b>Etanol de segunda geração</b>	<b>13</b>
<b>3.2.</b>	<b>Constituição do material lignocelulósico</b>	<b>16</b>
<b>3.3.</b>	<b>Obtenção do etanol</b>	<b>18</b>
3.3.1.	Pré-tratamento	18
3.3.2.	Hidrólise	20
3.3.3.	Fermentação	21
<b>3.4.</b>	<b>Processo industrial do mdf</b>	<b>21</b>
3.4.1.	Processo industrial da fábrica de mdf	24
3.4.2.	Lodo da produção de mdf	27
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterização da biomassa</b>	<b>30</b>
<b>4.2.</b>	<b>Pré-tratamento</b>	<b>34</b>
<b>4.3.</b>	<b>Hidrólise enzimática</b>	<b>35</b>
<b>4.4.</b>	<b>Determinação da concentração de glicose</b>	<b>36</b>
<b>4.5.</b>	<b>Estimativa da produção de etanol</b>	<b>37</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>5.1.</b>	<b>Características da biomassa</b>	<b>37</b>
<b>5.2.</b>	<b>Pré-tratamento</b>	<b>39</b>
<b>5.3.</b>	<b>Rendimento de hidrólise</b>	<b>40</b>
<b>5.4.</b>	<b>Estimativa da produção de etanol</b>	<b>42</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais variadas formas é fundamental para a sobrevivência do homem, que sempre busca evoluir e encontrar novas fontes e alternativas que atendam as necessidades humanas e ambientais, de modo que a escassez ou limitações de um determinado recurso, seja recompensada pela descoberta de novos recursos (ANEEL, 2002).

Na produção energética, várias são as fontes, e dentre elas está a biomassa, matéria orgânica de origem animal ou vegetal, é uma fonte renovável utilizada há bastante tempo pelo homem e que apesar da baixa eficiência energética, seu aproveitamento pode ser de diversas formas, como a combustão direta em fornos e caldeiras, sem necessariamente passar por processos físicos de secagem, classificação, compressão e outros, ou através de novas tecnologias de conversão como a gaseificação e a pirólise que são processos que visam melhorar a eficiência energética e diminuir os impactos negativos do ponto de vista ambiental e social, ou ainda por processo de via biológica, a digestão anaeróbia e fermentação (ANEEL, 2002).

Dentre os combustíveis renováveis, destacam-se as obtenções de energia a partir da biomassa e em especial, o álcool etílico, o metanol ou álcool metílico, esse menos utilizado como combustível, devido a sua toxicidade (ANDRADE, 2009). Através da fermentação, processo biológico anaeróbio, realizado pela ação de microrganismos (leveduras), que utiliza os açúcares presentes nos vegetais como a beterraba, o milho, a batata e, principalmente a cana-de-açúcar convertendo-os em álcool, que é composto por etanol e em menor proporção por metanol, e pode ser usado como combustível puro ou misturado à gasolina (ANEEL, 2002)

O petróleo contribuiu de forma significativa por muitos anos à economia internacional, chegando a aproximadamente 50% do consumo mundial de energia primária nos anos 1970, mesma época que o etanol foi inserido à matriz energética brasileira. Apesar da diminuição do uso do petróleo, sua participação na matriz energética mundial é da ordem de 33%, porém o uso desse recurso está associado às graves mudanças no clima verificados nas últimas décadas, dentre eles o aumento da temperatura média do planeta e da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera. Grande parcela dessas emissões tem origem nas atividades antrópicas que envolvem a queima de combustíveis fósseis como petróleo e seus derivados (ANEEL, 2002; ANDRADE et al., 2009).

O uso dos biocombustíveis ou combustíveis oriundos de fontes renováveis, tem como objetivo substituir os combustíveis fósseis e diminuir a dependência das fontes não renováveis que contribuem para geração dos gases poluentes na atmosfera. Nesse contexto, o etanol e o bioetanol, também conhecidos como etanol de primeira e segunda geração, são parte dessas fontes que podem vir a diminuir o uso de combustíveis fósseis.

De acordo com Bastos (2007) o novo conceito de etanol (ou bioetanol) corresponde a sua fabricação utilizando como matéria-prima a biomassa lignocelulósica, rota também conhecida como etanol de segunda geração, e que por razões econômicas e ambientais, acredita-se que chegará o momento em que o setor petroquímico poderá ser substituído pela álcoolquímica.

Segundo Santos (2012) os materiais lignocelulósicos, subprodutos de diversos segmentos industriais, podem tornar-se matéria-prima para a produção de etanol, devido serem resíduos abundantes, renováveis e de baixo custo.

A biomassa, fonte de estudo desse projeto, para a obtenção de etanol de segunda geração é oriunda do processo de produção de painéis de madeiras, denominadas MDF do inglês *Medium Density Fiberboard* ou na tradução, painéis de Fibras de Média Densidade. A indústria situada no estado do Pará tem produção aproximada de 27m<sup>3</sup>/hora de painel MDF e possui dentro da sua planta industrial uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), responsável em tratar os efluentes gerados por sua atividade. Processos como lavagem, cozimento e resfriamento, requerem uso abundante de água e algumas etapas carregam quantidades de resíduos provenientes da matéria prima, a madeira. Os resíduos sólidos retidos na ETE, o lodo, é objeto de estudo do presente trabalho.

Diante desse contexto o presente trabalho objetiva verificar o potencial de produção de etanol de segunda geração a partir do lodo de indústria de MDF e tem como intuito a investigação do aproveitamento desse resíduo para fins de reutilização e geração de energia, avaliando o potencial desta biomassa residual.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial para obtenção de etanol de segunda geração a partir de lodo residual da estação de tratamento de efluente de indústria de MDF.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinação do teor de celulose na biomassa.
- Avaliar diferentes pré-tratamentos na biomassa.
- Submeter a biomassa ao processo de hidrólise.
- Estimar a produção de etanol.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

O Etanol de segunda geração pode ser produzido a partir das mais variadas matérias-primas, como produtos agrícolas, podendo ele ser a partir da sacarose (cana-de-açúcar, beterraba, sorgo doce e frutas), materiais amiláceos (milho, sorgo, trigo, arroz, batata, mandioca, batata doce e cevada) e lignocelulósicos (madeira, palha e capim) (BALAT, 2011; CHEMMÉS, 2013). No Brasil, a cultura mais utilizada nas indústrias sucroalcooleiras é a cana, pois a partir dessa cultura pode-se obter o açúcar e o etanol (ANP, 2018).

A obtenção do etanol é realizado através da destilação do mosto fermentado a partir do açúcar, amido e celulose, sendo a sacarose o principal componente encontrado na cana-de-açúcar para a sua produção. O Brasil tem na fermentação do açúcar da cana-de-açúcar seu principal produto de etanol, enquanto que em outros países pode ser obtido principalmente por produtos amiláceos ou a partir do etanol hidratado (MILANEZ, 2008).

A cana de açúcar (*Saccharum officinarum L.*) cultura responsável que dá ao Brasil destaque na produção mundial de etanol, é uma cultura que se adaptou muito bem ao solo e clima tropical brasileiro. É uma cultura muito cultivada em outros países, sendo o Brasil, a Índia, China, Tailândia e Paquistão os maiores produtores. No Brasil, a produção concentra-se no centro-sul do país com 85% e o estado de São Paulo com 60% (BASTOS, 2007). A produção do etanol a partir da cana-de-açúcar é mais simples quando comparadas com outras culturas, uma vez que os açúcares presentes na cana já estão disponíveis, diferente de como se apresentam nos materiais amiláceos, como o trigo e o milho, e celulósico, como o bagaço da cana. Nesses casos, esses materiais precisam passar por processos para a transformação da matéria-prima a partir das ações enzimáticas (BNDS; CGEE, 2008).

O etanol de segunda geração é produzido a partir de matérias-primas ricas em lignocelulose, tais como palha de milho, sabugo de milho, pontas e palhas de cana-de-açúcar, do sorgo sacarino, gramíneas, resíduos florestais, casca de arroz, dentre outros (BASTOS, 2007; GOUVEIA et al., 2015).

Nos últimos anos, diversos estudos têm sido voltados para a produção de etanol de segunda geração (Etanol 2G). No Brasil, esse foco tem sido principalmente a cana-de-açúcar,



uma vez que essa é a matéria-prima predominante na produção de etanol de primeira geração, portanto, fonte de geração de grande quantidade de resíduos (GOUVEIA et al., 2015).

Em outros países, o Etanol 2G é uma realidade que recebe bastante atenção; União Européia, Estados Unidos, China e também no Brasil é possível encontrar empresas engajadas em viabilizar comercialmente o etanol 2G. No Brasil existem políticas de financiamento de pesquisas que tenham como proposta a conversão da biomassa da cana em etanol 2G, é o caso do PAISS criado em 2011 pelo BNDS e o Finep, bem como o Bioen (Programa de Pesquisa em Bioenergia) que tem como objetivo estimular as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento no campo da produção de bioenergia no Brasil. No entanto, no que se refere a incentivos ao consumo, o Brasil deixa a desejar, muito diferente do que ocorre em outros países como por exemplo nos Estados Unidos. Com investimentos e incentivo no setor, toda cadeia produtiva seria beneficiada com baixos custos de equipamentos e enzimas por exemplo, e barateando o produto final (GOUVEIA et al., 2015).

A biomassa lignocelulósica é considerada o recurso renovável mais abundante da terra e quando comparadas com culturas alimentares, não implica em concorrência com a economia das culturas alimentícias, além de ser renovável e de baixo custo (RODRIGUES, 2017). Os EUA segundo estimativas, têm capacidade para produzir mais 1,3 bilhões de toneladas (base seca) por ano, sendo que um bilhão de toneladas de biomassa produz cerca de 80 a 130 bilhões de galões de etanol celulósico (SANTOS, 2012).

Para a produção de etanol celulósico podem ser utilizadas qualquer material que seja provido de celulose e hemicelulose e é necessário o uso da hidrólise para a liberação de açúcares. O processo de obtenção consiste na quebra das moléculas de celulose contido na biomassa para a produção do etanol (ROSSI et al., 2014; BASTOS, 2007).

As biomassas lignocelulósicas são mais utilizadas na produção de etanol nos últimos tempos graças a sua rentabilidade. São divididos em seis principais tipos (CHEMMÉS, 2013), a saber:

1. Resíduos de colheitas – bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, dentre outros.
2. Madeira de lei – álamo alpino e álamo.
3. Madeira conífera – pinheiro e abeto.
4. Resíduos celulósicos – lodo de papel, papel reciclado, jornais, dentre outros.
5. Biomassas herbáceas – feno de alfafa, caníço-malhado, dentre outros.
6. Resíduos sólidos municipais.

A comunidade científica busca meios de desenvolver processos que sejam economicamente viáveis para o aproveitamento de resíduos agrícolas, florestais, do capim elefante, que possam ser utilizados para a produção do etanol de segunda geração. O uso de tecnologias para a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos em açúcares fermentáveis esbarra em dificuldades técnicas ou econômicas, sendo um dos principais gargalos do processo a separação da parede celular para a obtenção dos polissacarídeos. Os açúcares encontram-se na forma de polímeros (celulose e hemicelulose) e são encobertos por uma macromolécula (lignina) formando a microfibrila celulósica (SANTOS, 2012).

O processo de etanol de segunda geração tem como diferença em relação ao de primeira geração, as etapas de pré-tratamento, a hidrólise da celulose antes de serem submetidos à fermentação (ANP, 2018).

Segundo Petri e Ogeda (2010) para a obtenção de etanol a partir da biomassa são necessárias basicamente duas etapas, uma consiste na hidrólise dos polissacarídeos em mono e dissacarídeos e a fermentação dos mono e dissacarídeos em etanol.

A quantidade de lignina e celulose encontradas nas biomassas lignocelulósicas depende de vários fatores como origem, condição da cultura ou biomassa, como pode ser observado na Tabela 1, o que segundo o autor justifica que não exista um método de pré-tratamento específico para diversos tipos de materiais lignocelulósicos existentes (SILVA, 2009).

**Tabela 1:** Composição das principais matérias primas para produção de etanol lignocelulósico.

<b>Material Lignocelulósico</b>	<b>%Celulose</b>	<b>%Hemicelulose</b>	<b>%Lignina</b>
Palha de Cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de Cana	32-48	19-24	23-32
Madeira	43-47	25-35	16-24
Espiga de Milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de Trigo	30	50	15
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10

Palha de Cevada

31-45

27-38

14-19

---

Fonte: (SANTOS et al., 2012).

### 3.2.CONSTITUIÇÃO DOS MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

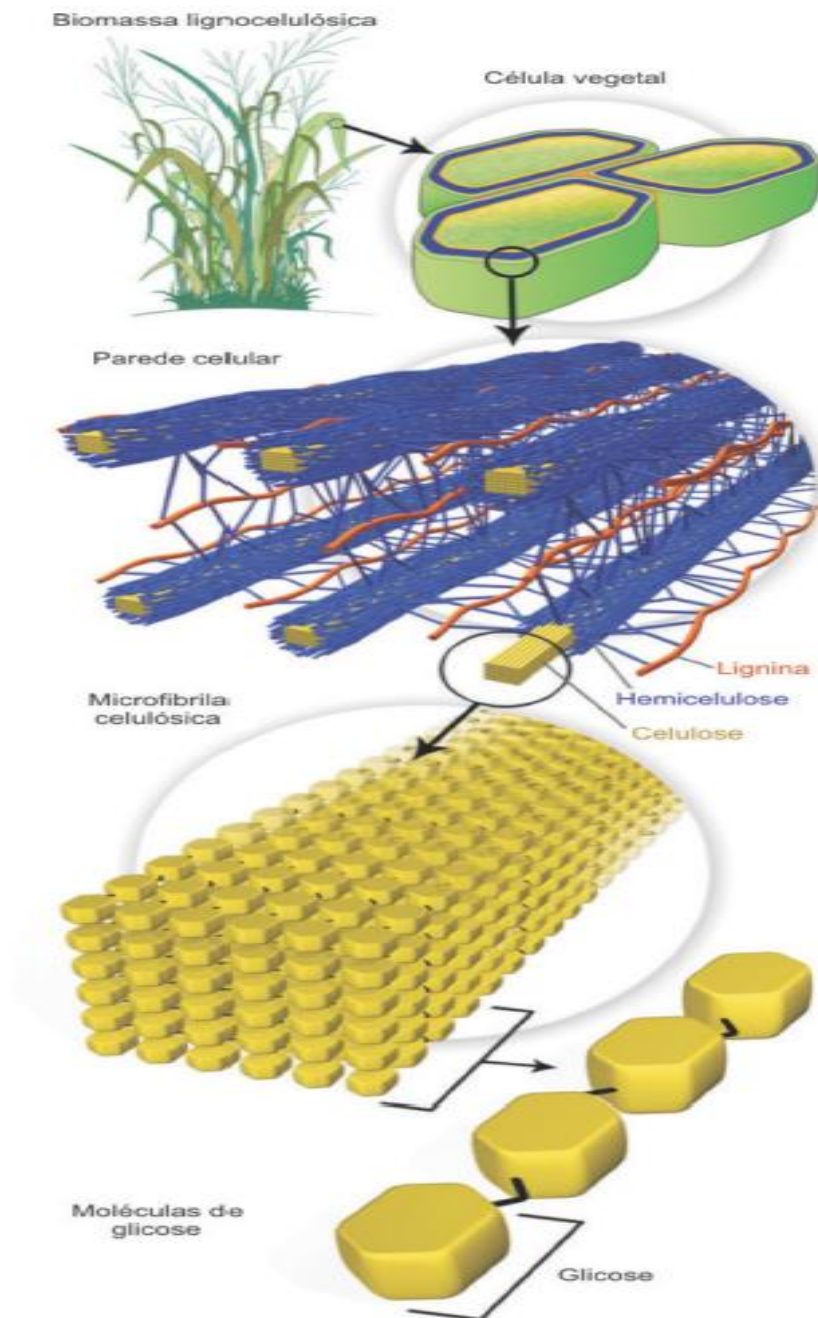
Os materiais lignocelulósicos são polímeros de carboidratos complexos como pode ser observado no esquema da Figura 1. São compreendidos pela celulose  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , um polissacarídeo formado por moléculas de glicose  $\beta$ - 1,4 – glicosídicas unidas por ligações de hidrogênio e revestidas pela hemicelulose  $(CH_5H_8O_4)_m$ , que são polissacarídeos ramificados formados por D-xilose com presença de poucas L-arabinose, D-glicose, D-Manose, D-galactose, ácido glucurônico e ácido manurônico; e a lignina  $(C_9H_{10}O_3(OCH_3))_n$ , que são redes poliméricas tridimensionais formadas por unidades fenilpropano interligadas. São representados por cerca de 90% e os outros 10% correspondidos com extrativos e cinzas (BALAT, 2011; PETRI, e OGEDA, 2010).

A celulose contribui para a resistência da parede celular dos vegetais e quando se apresentam na forma de madeira, pode ser usada pela indústria moveleira, construção civil e como combustível sólido. Atualmente o interesse pela celulose tem aumentado em virtude da obtenção de etanol, de solvente, de compostos orgânicos e extração de nanocristais de celulose para o preparo de compostos (KAMM, 2004; LI et al., 2009; FORT et al., 2007; AHOLA et al., 2007; SUN; CHENG, 2002; TAHERZADE; KARIMIM, 2007 apud MORAIS et al., 2010).

A alfacelulose é a celulose não degradada, enquanto que a betacelulose é a parte degradada da celulose e a gamacelulose é, principalmente hemicelulose. A diferença entre a celulose degradada e a não degradada está no tamanho da molécula e o número de resíduos de glicose presentes, que são maiores na alfacelulose (ZIAIE-SHIRKOLAEI et al., 2007 apud MORAIS et al., 2010).

A lignina está presente na parede celular e é a substância aromática mais abundante na biosfera, é responsável pelo suporte estrutural, impermeabilidade da célula, bem como, confere resistência à ataques microbianos e estresse oxidativo (FANG et al., 2008; PEREZ et al., 2002; TAHERZADEH; KARMI, 2007 apud MORAIS et al., 2010).

**Figura 1:** Estrutura recalcitrante da biomassa lignocelulósica.



Fonte: SANTOS (2011)

### **3.3.OBTENÇÃO DE ETANOL DE 2º GERAÇÃO**

#### **3.3.1. PRÉ-TRATAMENTO**

Para utilizar o material lignocelulósico na obtenção do etanol, são necessárias a aplicação de duas etapas que têm como objetivo disponibilizar os açúcares presentes no material. As etapas na qual o material deve ser submetido tem início com o pré-tratamento, no qual tem como função a separação das frações lignina, hemicelulose e celulose e outra que é denominada hidrólise (RODRIGUES et al, 2017)

Uma das dificuldades da produção de etanol de segunda geração está em determinar a melhor opção de disponibilizar a glicose a partir da hidrólise da celulose do ponto de vista dos custos, rendimento glicosídico e fermentabilidade, uma vez que os materiais lignocelulósicos, geralmente apresentam estruturas complexas e compactas, sendo necessário submetê-los à pré-tratamentos que podem ser de natureza física, química ou combinação desses. O pré-tratamento é uma das etapas mais importantes do processo de obtenção do etanol de segunda geração, pois reflete diretamente na hidrólise enzimática e na fermentação (RABELO, 2010; GUERRA et al., 2014).

Os pré-tratamentos físicos visam à redução do tamanho das partículas e aumento da área de contato para proporcionar uma melhora da performance enzimática. Esses processos podem incluir moagem, altas temperaturas e radiação. Dentre as principais tecnologias para os pré-tratamentos estão também os de natureza química (ácidos, alcalinos ou oxidativos), responsáveis por modificações estruturais e químicas da parede celular, que proporciona acessibilidade das enzimas e maiores rendimentos. Nos pré-tratamentos biológicos geralmente são utilizados fungos e algumas bactérias durante o processo; esses organismos secretam enzimas extracelulares que ajudam na remoção de lignina presente na biomassa (PETRI e OGEDA, 2010).

O pré-tratamento consiste na redução da cristalinidade da celulose, da dissociação lignina-celulose, visa aumentar a área superficial da biomassa de modo a preservar as pentoses e evitar a formação de compostos inibidores; no processo de obtenção do etanol é a primeira etapa e tem como finalidade preparar a biomassa para as etapas seguintes ao contribuir para bom resultado da hidrólise e fermentação (RABELO, 2010; SANTOS, 2012).

No pré-tratamento alcalino há a remoção de frações da lignina a partir de uma reação que contribui para o aumento da área superficial da celulose e diminuição do grau de polimerização e cristalinidade da biomassa de modo que os açúcares fiquem mais acessíveis às enzimas. Um dos reagentes mais utilizados para esse fim é o hidróxido de Sódio (NaOH), podendo levar de horas à dias com temperaturas variando de 25 °C a 150 °C (GALBE, et al, 2007; HENDRIKS et al, 2009, JORGENSEN et al, 2007; MOSIER et al., 2005). O pré-tratamento ácido é muito utilizado e visa solubilizar os açúcares. A técnica faz uso de ácido mineral na biomassa e essa é submetida a diferentes condições de tempo e temperatura. A escolha dessas condições depende do material em questão, podendo variar a concentração, tempo, temperatura e relação sólido/líquido (RODRIGUES et al., 2017).

A explosão a vapor desorganiza a estrutura lignocelulósica e favorece a atuação das enzimas e aumenta a recuperação de açúcares. O método consiste em submeter a biomassa ao vapor pressurizado com adição de ácido diluído e tem como vantagem o baixo impacto ambiental (BALLESTEROS, et al., 2000; RUIZ et al., 2008).

O uso do peróxido de hidrogênio alcalino como pré-tratamento visa solubilizar a lignina a partir dos radicais advindos da dissociação do peróxido de hidrogênio e tem sido bastante utilizado em diversos materiais lignocelulósicos como a palha de milho, a palha de cevada, de trigo, bambu e palha de arroz (CORREIA, 2013).

De acordo com Azzan (1989) o pré-tratamento por oxidação a partir do peróxido de hidrogênio em meio alcalino, é um método de fácil manuseio, não tóxico e versátil.

Segundo Pietri e Ogeda (2010) as hidrólises enzimáticas apresentam um rendimento inferior a 20% de açúcar quando não submetidas à pré-tratamento, no entanto se a biomassa for previamente tratada, esse rendimento pode chegar valores superiores a 90%.

É importante ressaltar a possibilidade do pré-tratamento da biomassa liberar substâncias que podem inibir a ação microbiana podendo interferir na eficiência e na produtividade do processo fermentativo (BALLESTEROS, et al., 2000).

Na Tabela 2 está um resumo de alguns métodos de pré-tratamentos empregados e seus respectivos efeitos.

**Tabela 2:** Efeitos de vários métodos de pré-tratamentos no material lignocelulósico.

<b>Pré-tratamento</b>	<b>Celulose</b>	<b>Hemicelulose</b>	<b>Lignina</b>	<b>Outros efeitos</b>
<b>Ácido diluído</b>	Pouca solubilização	Alta solubilização	Condensação e precipitação	-
<b>Explosão à vapor</b>	Leve solubilização	Alta solubilização	Redistribuição	Aumento no tamanho do poro
<b>Bifásica CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O</b>	Pouca solubilização	Alta solubilização	-	Aumento da área de superfície
<b>Alcalina</b>	Redução do grau de polimerização	Hidrólise parcial	Alguma solubilização	Aumento da área de superfície

Fonte: adaptada de MODENBACH et al., (2012).

### 3.3.2. HIDRÓLISE

A hidrólise é a etapa seguinte ao pré-tratamento e consiste na transformação da celulose em glicose a partir de enzimas específicas denominadas celulasas que rompem ligações da celulose e liberando oligossacarídeos, celobiose e glicose (SANTOS, 2012). Por outro lado, a hidrólise da lignina e da hemicelulose gera açúcares e subprodutos como difenóis, derivados de fenilpropano, cetonas, furfural e ácido acético, e que podem inibir a atividade microbiana na fermentação (PETRI e OGEDA 2010).

Na hidrólise, as rotas mais conhecidas são as que utilizam ácidos ou enzimas, sendo que o uso de processos que envolvem o ácido exige o uso de equipamentos que sejam resistentes à corrosão, por isso também são mais caros. Além de serem processos mais eficientes e relativamente baratos, normalmente geram subprodutos inibidores da fermentação devido a degradação parcial da glicose. Diante desse fato, a hidrólise enzimática é objeto de estudo, visto que proporciona maior rendimento e é realizada à pressão ambiente, além de moderadas temperaturas, sem a formação de subprodutos (RABELO, 2010).

### 3.3.3. FERMENTAÇÃO

A fermentação alcoólica consiste em transformar os açúcares em etanol e gás carbônico pela ação de leveduras. As leveduras mais utilizadas nesse processo são as do

gênero *Saccharomyces*. Esses organismos são desenvolvidos para propiciar uma fermentação uniforme, rápida e com alto rendimento alcoólico.

A etapa correspondente à produção do etanol consiste na fermentação alcoólica realizada por microrganismos como a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, e que de acordo com Silva (2010), tanto o etanol de primeira geração quanto o de segunda geração tem na fermentação a etapa mais importante do processo na obtenção do etanol no Brasil (SILVA et al., 2007)

### **3.4.PROCESSO INDUSTRIAL DA FABRICAÇÃO DO MDF**

O MDF (Médium Density Fiberboard) é um painel produzido a partir de fibras de madeira e adição de resinas termofixas, cujas características estão na estabilidade dimensional e capacidade de usinagem, com diversas aplicabilidades de uso, com densidade adequada e homogeneidade proporcionada pelas fibras do painel (FOREST PRODUCTIS LABORATORY, 1999).

Segundo Youngquist (1998), o MDF é um produto homogêneo, uniforme, estável, de superfície plana e lisa que permite uma boa tratabilidade, alta usinabilidade para encaixar, cortar, perfurar dentre outras utilidades além de apresentar economia na redução do uso de tintas e adesivos e apresentar boa aceitação.

Os painéis são muito utilizados pelas indústrias de móveis devido as suas características como solidez e uniformidade, além de resistência mecânica que permite o uso desse material para utilização como painéis estruturais em gabinetes (CASTRO, 2000).

A primeira patente foi desenvolvida por Lyman em 1958 nos Estados Unidos e desse período em diante várias patentes foram desenvolvidas mediante os painéis e suas variações, assim como as formas de produção e equipamentos. A produção de painéis no Brasil teve início no ano de 1955 e sua produção era somente para painéis isolantes e chapas duras. Atualmente o Brasil tem destaque na produção mundial de MDF (IWAKIRI, 2005).

Para obtenção das fibras de madeira, as ligações entre as fibras devem ser quebradas. Para tanto as madeiras são submetidas ao processo de moagem por ação de discos e essa quebra pode ser aumentada por água, cozimento a vapor ou tratamentos químicos. O cozimento do material lignocelulósico permite que as ligações de ligninas sejam então



enfraquecidas. Os alcalóides são utilizados geralmente nos tratamentos químicos e também enfraquecem as ligações (FOREST PRODUCTIS LABORATORY, 1999).

A madeira é a principal matéria-prima utilizada no processo e a escolha da espécie depende do produto final requerido e da aplicação. A madeira pode ser coníferas ou de folhosas, de preferência as que possuem paredes finas para facilitar o desfibramento. Também é possível a mistura de espécies como o que acontece nas fábricas da Europa cujas misturas são geralmente 80% de coníferas e 20% de folhosas. No Brasil as espécies mais utilizadas são *pinus* e *eucalipto* (*Eucalyptus grandis*), e também em muitas situações são misturas em diferentes proporções, uma das proporções mais utilizadas são 70% pinus e 30% eucalipto (TORQUATO, 2008).

Os painéis são resultantes da compactação em prensa quente, processo em que a ligação entre as fibras é formada pelo adesivo adicionado para obtenção uma densidade de 31 a 50 lb/ft<sup>3</sup>. É possível a adição de outros materiais para melhorar algumas propriedades (MALONEY, 1996).

Iwakari (2005) define como painéis de fibras de média densidade, aqueles produzidos a partir da encolagem de fibras a partir de resinas uréia formaldeído e da prensagem a quente.

Segundo a ABIPA (Associação Brasileira da Indústria de Madeira de Painéis de Madeira) painel de MDF é o painel de media densidade produzido a partir das fibras de madeira aglutinadas com resina sintética submetida a altas temperaturas e pressão.

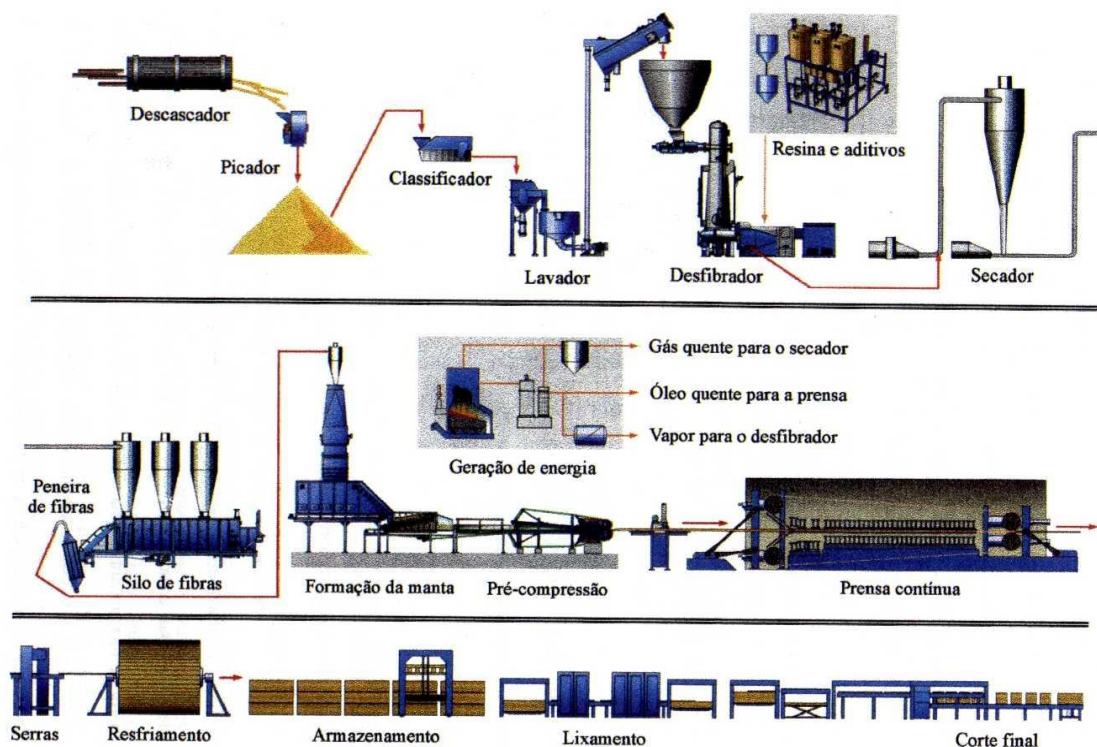
De acordo com a norma ABNT NBR 15316-1:2006 o MDF é a chapa de fibra de madeira com umidade inferior a 20% na linha de formação e densidade  $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ .

Sendo assim, a chapa é produzida a partir do uso de fibras de madeira com a adição de adesivo sintético sob a ação de calor e pressão.

Em relação aos adesivos, esses devem umedecer as fibras e fluir de forma controlada durante a prensagem na presença de altas temperaturas o que acarretará a solidez dos mesmos. Os adesivos orgânicos são os mais utilizados pelas indústrias de madeira devido à sua resistência a água e de impedir a ação de microorganismos. Os adesivos ainda são classificados em termofixos e termoplásticos, sendo os termofixos utilizados nesse processo, pois apresentam características como endurecimento rápido durante a reação química na presença de temperatura e catalisadores, resistência à umidade e ao calor. Alguns podem ser citados, como, fenol-formaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol formaldeído e os

poliuretanos. Dentre os principais utilizados no processo fabril do MDF estão aqueles a base de uréia-formaldeído e melamina-formaldeído, sendo a primeira situação podendo apresentar cura tanto em temperaturas ambientes como a presença de altas temperaturas e prensagem (CAMPOS, 2004).

De acordo com Forest Products Laboratory, o processo industrial segue as seguintes etapas: Descascamento, fragmentação, classificação dos cavacos, armazenamento dos cavacos, tratamento dos cavacos, desfibramento, mistura de resina, secagem de fibras, entrelaçamento das fibras, seccionamento, prensagem, resfriamento, corte, lixamento e revestimento, como pode-se observar na a Figura 2 referente ao processo industrial de produção de painéis MDF, modelo prensa contínua.



**Figura 2:** Processo industrial de produção de painéis MDF.

Fonte: CASTRO (2010)

### 3.4.1. PROCESSO INDUSTRIAL DA FÁBRICA DE MDF EM PARAGOMINAS

A indústria de fabricação de painéis de MDF situado no estado do Pará foi instalada e entrou em funcionamento no segundo semestre do ano de 2010, a fabricação dos painéis a partir das madeiras de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), e Paricá (*Schizolobium amazonicum*), são utilizadas para a produção de painéis de diferentes espessuras para as mais diversas finalidades.

As toras de madeiras de Eucalipto que chegam ao pátio da fábrica são encaminhadas o setor do picador, onde serão transformadas em partes menores, denominadas cavacos, enquanto as lâminas de madeira de Paricá são destinadas diretamente aos silos de armazenamento.

Os cavacos seguem por um processo de classificação através de peneiras vibratórias, obtendo-se assim três frações diferentes, as frações pequenas serão adicionadas à biomassa no processo de queima da caldeira para geração de vapor, as frações com granulometrias superiores às desejadas retornam ao picador e as frações com partículas retidas nas peneiras medianas, ideais ao processo, são encaminhadas por esteiras aos silos de armazenamento. Os cavacos de madeira são encaminhados ao pré-aquecedor através de esteiras no qual o material será submetido à temperatura e pressão específica para amolecimento dos cavacos. Depois de amolecidos, os cavacos são submetidos à ação mecânica de desfibramento no desfibrilador (equipamento com um disco fixo e outro móvel) que transforma o cavaco em fibras com auxílio da emulsão parafínica que tem como função nessa etapa de diminuir o atrito entre o cavaco e os discos do equipamento, além dessa função, a emulsão de parafina é utilizada para bloqueio da absorção de água, o que agrega qualidade ao painel em relação à resistência de umidades em geral.

Na etapa seguinte é adicionada a resina Uréia Formaldeído (RUF), líquido, límpido à ligeiramente esbranquiçada, com odor intenso de formaldeído e que serve como aglutinante. As fibras juntamente com a resina seguem pelo secador, um tubo espesso com alta ventilação que carrega as fibras de madeira para os silos da pré-prensa (formadora de colchão). Na formadora de colchão as fibras são dispostas em esteiras e são levemente prensadas e cortadas em dimensões adequadas aos pratos da prensa. A prensa do tipo “não contínua” de linha chinesa é composta por 12 pratos e que prensam ao mesmo tempo os 12 colchões a alta

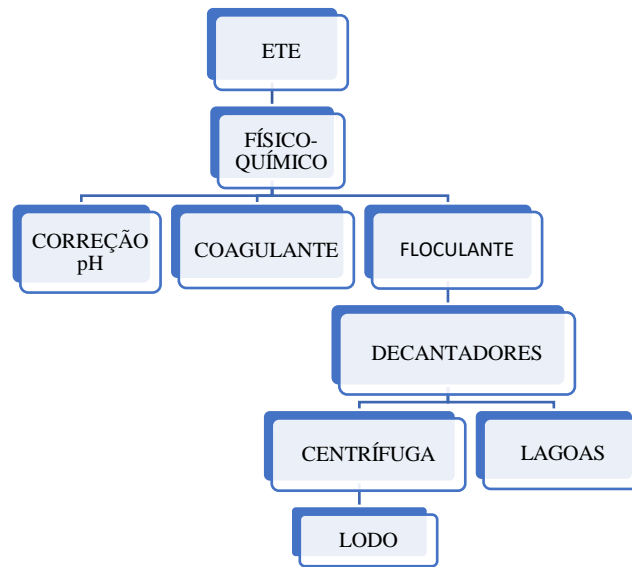
temperatura e pressão por um determinado tempo, parâmetros esses, que variam de acordo com a espessura e material utilizados no processo. As chapas formadas na prensa seguem para um secador rotativo a temperatura ambiente e seguem para o setor de corte, cujas arestas são retiradas (refilos) e são cortadas ao meio dando origem no total de 24 painéis por prensagem. Os painéis seguem para o setor de acabamento, composto pela lixadeira e revestimento.

Em todo o setor industrial se requer o uso de grandes quantidades de água, denominadas água de uso industrial, como água de caldeira para produção de vapor, águas de resfriamento para resfriar equipamentos, águas de lavagem que são utilizadas, por exemplo, na lavagem dos cavacos para retirar excesso de resíduos e areia. Essas águas recebem tratamentos após seu uso na Estação de Tratamento de Efluente da indústria de MDF que é compreendida por tanques e peneiras rotativas na saída no refinador, a qual recebe o efluente com altas temperaturas, em torno de 60 °C. O efluente gerado na produção do MDF é bombeado por uma tubulação na saída dos setores até a ETE, onde são inicialmente acondicionados em tanques equalizadores, providos de circulação para a diminuição da temperatura. Em seguida o efluente recebe tratamento físico-químico, seguido de lagoas aeradas e facultativas.

A ETE é compreendida por um tanque de equalização, seguida de tanques de produtos químicos, para correção de pH, acréscimo de coagulante e floculante respectivamente; seguida de decantadores e centrífuga. No tratamento químico são adicionados a Cal, para correção de pH; O sulfato de alumínio, como coagulante; e o polímero orgânico aniônico, como floculante; para auxílio na formação do material retido na centrífuga desaguadora faz-se uso de um polímero catiônico.

O efluente segue por tratamento biológico através das lagoas aeradas e facultativas conforme Figura 3.

**Figura 3:** Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente da indústria de MDF de Paragominas.



Fonte: Da autora (2019).

### 3.4.2. LODO DA PRODUÇÃO DE MDF

Lodo é um termo utilizado para identificar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos, resultante de processos de tratamento biológico, processo no qual parte da matéria orgânica é absorvida e convertida por ações bacterianas específicas. O lodo primário e secundário está dentre os subprodutos gerados no tratamento dos esgotos, sendo o tratamento desses subprodutos sólidos uma etapa essencial do tratamento de esgotos. O lodo é classificado em primário quando provém de decantadores primários em tratamentos biológicos e secundários quando sua origem está nos decantadores secundários, ainda podem ser classificados em lodo químico quando resulta de processos que incorporam tratamentos físico-químicos (VON SPERLING, 2005).

Quando esse lodo tem nas suas características aspectos positivos, podendo ele ser designado ao reaproveitamento é assim denominado como bio sólido, ou seja, possuem aspectos que valorizam a utilização produtiva do lodo enquanto deveria ter como destinos aterros, disposição final no solo ou incineração (VON SPERLING, 2005). O lodo tem em sua composição características que variam de acordo com o tratamento no qual é submetido; essa variação ocorre principalmente se o lodo for de origem industrial, pois varia com a matéria prima utilizada no processo. Em outros países o aproveitamento do lodo é realizado há tempos, no entanto no Brasil poucas são as alternativas de reuso e a aplicação na agricultura

ainda é a mais expressiva, e em relação a destinação, o aterro sanitário é o mais utilizado (GODOY, 2013).

O lodo de esgoto doméstico apresenta-se tipicamente com 98% de água e cerca de 70 a 80% do material contido na parte sólida do lodo são encontrados matéria orgânica, óleos e graxas, além de contaminantes que refletem as características do esgoto bruto do qual ele foi derivado (SORME, 2002).

Dentre as etapas de tratamento de lodo estão o adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento ou desidratação, higienização e disposição. O adensamento é um processo físico que visa concentrar a parte sólida do lodo reduzindo a sua umidade, de modo que diminua o seu volume e facilite as etapas seguintes do tratamento. A etapa seguinte, da estabilização, consiste em diminuir maus odores no processamento e disposição do material. Na etapa de condicionamento, são adicionados produtos químicos com intuito de agregar partes constituintes e que facilite no desaguamento, que pode ser realizado de forma natural ou mecânica, cujo objetivo é retirar ainda mais o excedente de água, importante para os custos com transporte e destinação final. Quanto à higienização do lodo só é necessário se esse for aplicado na agricultura devido a existência de patógenos presentes. Têm-se como disposição final, a descarga oceânica, incineração, aterro sanitário, disposição superficial no solo, recuperação de áreas degradadas e reciclagem agrícola (VON SPERLING, 2005).

O gerenciamento do lodo, resíduo oriundo das estações de tratamento, é uma atividade que envolve altos custos além de serem complexos. Uma vez que o gerenciamento não for realizado de forma adequada, pode comprometer os bons resultados esperados pela atividade, pois podem causar conseqüências negativas ambientais e sanitárias (PEDROZA et al., 2010).

Nos Estados Unidos, a metade do lodo produzido tem a aplicação em solos como destinação, e na Europa mais de 30% do lodo produzido é utilizado como fertilizante para aplicação na agricultura. No Brasil, estima-se uma produção de lodo entre 150 a 220 mil toneladas por ano (KHAI, 2017; PEDROZA, et al., 2010).

Apesar de ser a melhor forma de gerenciamento do lodo, o uso na agricultura trás consigo alguns problemas importantes do ponto de vista da qualidade do lodo, pois nele pode conter contaminantes de origem química e/ou biológica, como substâncias tóxicas e agentes patogênicos, exigindo assim tratamentos que viabilizem a sua aplicação.

Outra forma de gerenciamento bastante interessante é a incineração, visto que não necessita de um tratamento prévio do lodo. Esse processo viabiliza uma diminuição considerável do volume do lodo, porém, uma das principais desvantagens está na geração de gases como óxidos de nitrogênio, furanos, dioxinas, gases ácidos e geração de cinzas (LEE et al., 2011).

Uma das alternativas bastante estudada, porém pouco difundida, é o uso do lodo de estações de tratamento como combustível alternativo na co-geração de energia. O uso de resíduos sólidos como biomassa e alternativa como biocombustível tem nas características físicas e químicas da sua composição o princípio para as condições de combustão e pirólise (DE SENA et al., 2007; SANGER et al., 2001; ZHENG, 2000).

De acordo com Meyer (2007), seu estudo mostra o uso de cinzas do lodo residual do processo físico-químico da indústria de painéis de MDF e resíduos da indústria de Cal, como matérias-primas principais para produção de novos materiais da construção civil, com resultados comprovados em cerca de 30-45% em peso, resultou em níveis apropriados de resistência mecânica e são economicamente atraentes devido ao baixo custo das matérias-primas e seus grandes benefícios ambientais; mostrando assim uma possível aplicação desse resíduo.

Assim como os demais lodos oriundos de estações de tratamento, observa-se que o lodo resultante das estações de tratamento do setor de painéis, normalmente tem como destinação os aterros, a aplicação em solos com nível não exigentes de qualidade e a incineração. Não há estudos com o uso do lodo oriundos desses setores industriais.

#### **4. METODOLOGIA**

A biomassa (lodo), fonte de estudo desse projeto, para a obtenção de etanol de segunda geração é oriunda do processo de produção de uma fábrica de painéis de MDF. A coleta da amostra foi realizada no mês de julho, do ano de 2018, e armazenada em recipiente apropriado e congelada até o momento das análises laboratoriais. No momento da coleta a produção da fábrica utilizava uma proporção de 40 % da madeira Paricá e 60 % de lenha, que é composta por diferentes espécies de madeira.

As análises experimentais foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ), e no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas e seguiu o esquema descrito na Figura 4.

**Figura 4:** Esquema dos processos metodológicos realizados com a biomassa.



A biomassa, na forma de pó, foi desidratada previamente em estufa a 65° C por aproximadamente 24 horas e armazenada em freezer até o momento das análises de caracterização e pré-tratamento,

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Para determinação dos teores de umidade, cinzas, extrativos, lignina, holocelulose e alfacelulose utilizou-se os procedimentos de MORAIS et al, (2010). As análises foram realizadas em triplicatas para maior confiabilidade dos dados estatísticos.

##### 4.1.1. Determinação do Teor de Umidade (%)

Para a determinação de umidade foram pesados aproximadamente 2 gramas da amostra de biomassa, colocado em cadinho de porcelana e levado em estufa a uma temperatura de  $105 \pm 2$  °C por 3 horas. Após a amostra foi resfriada em dessecador por 30-60 minutos e posteriormente pesada. A amostra foi devolvida a estufa e ficou por mais uma hora, o procedimento seguiu até peso constante. A análise foi realizada em triplicata. Com os valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra úmida (MAU), da massa do conjunto recipiente/amostra úmida (MRAU) e da massa do conjunto recipiente/amostra seca (MRAS), é possível determinar o teor de umidade (TU%) a partir da equação 1:



$$\frac{(\text{MRAU} - \text{MRAS}) * 100}{\text{MAU}} \quad (\text{Eq. 1})$$

#### 4.1.2. Determinação do Teor de Cinzas (%)

Para a determinação do teor de cinzas foram pesados 2 gramas de amostra e colocado em cadinho de porcelana e levado em forno mufla com rampa de aquecimento de 9,6°C/min até que a temperatura alcançasse 600°C. Após o decorrer de três horas, a temperatura foi reduzida para 200 °C por mais uma hora. Com os valores da massa do recipiente (MR), da massa da amostra (MA) e da massa do conjunto recipiente/amostra calcinada (MRAC), foi possível determinar o teor de cinzas totais (TC%) segundo equação 2:

$$\frac{(\text{MRAC} - \text{MR}) * 100 \%}{\text{MA}} \quad (\text{Eq. 2})$$

#### 4.1.3. Determinação do Teor de Extrativos

Para a determinação do teor de extrativos foi utilizada aproximadamente 4 gramas de amostra da biomassa, colocadas em cartuchos feitos manualmente com papel filtro e amarrados nas extremidades para evitar a perda de material durante o processo de extração. Para extração foi utilizado o aparelho Soxhlet, e adicionado ao balão 150 MI de éter de petróleo, por 5 horas. Após a extração, a amostra foi transferida para cápsula de porcelana pesada e levada a estufa com temperatura a 105 ± 2 °C por uma hora, depois levado ao dessecador e pesado novamente. A análise foi realizada em triplicata. Com os valores conhecidos da massa do recipiente (MR), da massa da amostra (MA), da massa do conjunto recipiente/extrativos (MRE) e da massa do conjunto recipiente/resíduo de solvente (MRRS), foi possível determinar o teor de extrativos (TE%) através da equação 3:

$$\frac{(\text{MRE} - \text{MRRS}) * 100 \%}{\text{MA}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Como os dados se referem a amostra seca, é necessário um cálculo de correção:

$$\frac{\text{TE\%} * (100 - \text{TU\%})}{100} \quad (\text{Eq. 4})$$

#### 4.1.4. Determinação do Teor de Lignina (%)

Na determinação de lignina de Klason, segundo norma TAPPI T 222 om-22 (2002c), foi utilizado cerca de 1 grama de amostra da biomassa, seca e sem extrativos em almofariz e adicionado 17 mL de ácido sulfúrico 72% (m/m) e misturado vagarosamente por 15 minutos com pistilo e depois o conjunto ficou em repouso por 24 horas.

Após esse período, adicionou-se 306 mL de água destilada para diluição do ácido sulfúrico a 4% e transferiu-se o conteúdo para um balão de 1000 mL. Este foi levado a refluxo por um período de 4 horas contados à partir da fervura e depois esfriado a temperatura ambiente.

No terceiro momento, o conteúdo foi filtrado em bomba à vácuo e o conjunto do material retido e funil foi pesado e levado para estufa a temperatura de  $105 \pm 2$  °C por 3 horas e seco, repetiu-se até adquirir peso constante.

Com base na massa do funil limpo e seco (MF); na massa da amostra (MA); na massa do funil somada à massa de lignina, após a secagem em estufa (MFL); e na massa do funil com cinzas, após calcinação em mufla (MFC), pode-se calcular o teor de lignina insolúvel (TLI%) a partir da equação 5:

$$\frac{(\text{MFL} - \text{MF} * 100\%) - \text{TC \%}}{\text{MA}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Como os dados se referem a amostra seca e sem extrativos, é necessário um cálculo de correção, conforme equação 6:

$$\frac{\text{TLI\%} * [100 - (\text{TE\%} + \text{TU\%})]}{100} \quad (\text{Eq. 6})$$

#### 4.1.5. Determinação do Teor de Holocelulose (%)

Para a determinação do teor de holocelulose, foi adicionado cerca de 3 gramas de amostra de biomassa seca e sem extrativos em um erlenmeyer de 500 mL e adicionado 120 mL de água destilada.

O erlenmeyer foi colocado em banho-maria a uma temperatura de  $70 \pm 2$  °C e agitação constante. Acrescentou-se 2,5 g de clorito de sódio, com pureza de 80% e 1 mL de ácido acético glacial, sob agitação durante uma hora. Depois de corrido o tempo acrescentou-se mais 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético por mais uma hora mantendo a temperatura e agitação. Após esse processo adicionou-se mais uma vez 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético e prosseguiu por mais três horas. Após procedimento com duração de 5 horas de aquecimento, o erlenmeyer foi resfriado em banho de gelo por 30 minutos. O conteúdo do balão foi transferido para funil com agitação constante e submetido a filtração à vácuo. O material retido juntamente com o funil foi levado a estufa a  $105 \pm 2$  °C por 18 horas, depois levado ao dessecador por 30-60 minutos e pesado. Com base na massa do funil limpo e seco (MF); a massa da amostra (MA); e a massa do funil somada à massa de holocelulose (MFH), pode-se calcular o teor de holocelulose (TH%) de acordo com a equação 7:

$$\frac{(MFH - MF) * 100 \%}{MA} \quad (\text{Eq. 7})$$

Como os dados se referem a amostra seca e sem extrativos, é necessário um cálculo de correção:

$$\frac{TLH\% * [100 - (TE\% + TU\%)]}{100} \quad (\text{Eq. 8})$$

#### 4.1.6. Determinação do Teor de Alfacelulose (%)

Na determinação do teor de alfacelulose foi utilizado cerca de 1 grama da amostra de holocelulose obtida e colocada em almofariz. Adicionou-se 15 mL de NaOH a 17,5%, esperou-se dois minutos e então o material foi macerado com pistilo durante oito minutos. Após esse tempo corrido, adicionou-se 40 mL de água destilada e transferiu-se o conteúdo para o funil e levado a filtragem. O conteúdo foi filtrado em bomba à vácuo e depois o material retido juntamente com o funil foi pesado e levado a estufa com temperatura de  $105 \pm 2$  °C por 18 horas, depois resfriado em dessecador por 30-60 minutos e pesado novamente. Com base na massa do funil (MF); a massa da amostra de holocelulose (MAH); e a massa do funil somada à massa de alfacelulose (MFA), pode-se calcular o teor de alfacelulose (TA%) usando a equação 9:

$$\frac{(MFA - MF) * 100 \%}{MA} \quad (\text{Eq.9})$$

$$\frac{(TH_{\text{corrigido}} * TA)}{100} = TA_{\text{corrigido}} \quad (\text{Eq.10})$$

#### 4.1.7. Determinação do Teor de Hemicelulose (%)

Por meio da diferença entre os valores do teor de holocelulose e alfacelulose é possível obter o percentual de hemicelulose.

$$TH_{\text{corrigido}} - TA_{\text{corrigido}} = THeH_{\text{corrigido}} \quad (\text{eq. 11})$$

## 4.2. PRÉ-TRATAMENTO

A biomassa foi submetida a diferentes procedimentos de pré-tratamentos a fim de identificar qual apresenta melhor resultado em relação à obtenção dos açúcares fermentecíveis, conforme descrição abaixo:

- 4.2.1. Um dos procedimentos consistiu em não submeter a biomassa a pré-tratamento antes da mesma ser hidrolisada, uma vez que essa advém de um processo industrial que envolve altas temperaturas, produtos químicos e processos mecânicos, e que portanto, pode apresentar material já hidrolisado, em função dos processos já sofridos;
- 4.2.2. O pré-tratamento alcalino na qual a biomassa foi submetida, foi realizada em 5 repetições utilizando 10 g da amostra em erlenmeyer com 200 mL de solução de hidróxido de sódio 4 % e posteriormente levado à autoclave com temperatura de 121 °C com duração de 15 minutos. Após o tempo corrido a amostra foi acidificada com ácido fosfórico concentrado até pH 2,0 e depois neutralizado com hidróxido de sódio de acordo com o método de Meneses e Hennies (1991). O material passa por filtração e a ele é adicionado um volume proporcional de água destilada, a mistura foi novamente autoclavada a 121 °C por 15 minutos, posteriormente a suspensão foi filtrada e o material sólido desidratado na estufa a 105 °C até massa constante.
- 4.2.3. O pré-tratamento com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à 1%, foi realizada em 5 repetições utilizando 2g da amostra em erlenmeyer com 100 mL de solução, e pH entre 11,3 e 11,9, corrigido com solução de hidróxido de sódio. O conjunto foi levado à incubadora com rotação de 150 rpm, 25°C durante 24 horas. Depois do tempo corrido, o conjunto foi filtrado e a amostra lavada com água quente. O conjunto amostra e filtro, foi para estufa com temperatura de 50°C por 24 horas, depois retirado e pesado; retornou à estufa por mais 12 horas e repetiu-se procedimento de pesagem.

### **4.3. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA**

Após o pré-tratamento, a biomassa foi submetida à hidrólise enzimática, onde se utilizou a enzima celulolítica comercial Cellic Htec2 da Novozymes, em solução tampão citrato de sódio, em incubadora, sob as condições de agitação de 150 rpm, à temperatura de 50-55°C e pH 5,0 por 72 horas, conforme indicações do fabricante.

Para análise de rendimento de hidrólise enzimática utilizou a equação 12 adaptada de (CHEN et al., 2007):

$$\eta = \frac{CLAE * FT - Branco}{CML * Teor de Celulose} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

CLAE = é a concentração de açúcares estimada no cromatograma;

Branco = são os valores de glicose da hidrólise no tempo 0 h.

CML = é a concentração do material lignocelulosico (g/L)

FT = fator de conversão de celulose (glicose = 0,9)

Teor de celulose = percentual encontrado na biomassa.

#### 4.4. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE GLICOSE

A determinação da glicose se deu pela técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência – CLAE, no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis – LAPEQ, situado na Universidade federal do Tocantins. As análises foram realizadas no Cromatógrafo Líquido, Agilent 1260 infinity II, injetor automático e integrador Openlab. A separação foi desenvolvida por método de eluição isocrática, utilizando-se uma coluna Phenomenex Rezex ROA-OrganicAcid H+ (300x 7,8mm) e pré coluna preenchida com material semelhante a coluna principal. A fase móvel composta de 5mM de ácido sulfúrico em água ultrapura. As especificações do método cromatográfico estão indicadas na Tabela 3. O método cromatográfico utilizado foi segundo metodologia do manual de aplicações da Phenomenex.

**Tabela 3:** Condições cromatográficas na determinação dos carboidratos

Composição da fase móvel	5mM de ácido Sulfúrico
Vazão da fase móvel	0,6 mL/min.

Tempo de corrida	15 minutos
Temperatura de forno	60 °C
Volume de injeção	20 µl
Coluna Cromatográfica	Phenomenex Rezex ROA – Ácidos Orgânicos H+ (300 x 7,8 mm)
Cromatógrafo	Modelo: Agilent 1260 infinity II
Detector	RID 40 °C

#### 4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

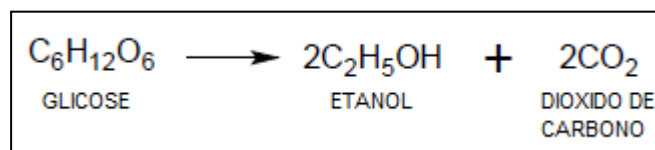
Os dados referentes ao teor de glicose encontrado nos tratamentos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados e posteriormente foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância. O delineamento estatístico foi o Inteiramente Casualizado (DIC) com cinco repetições e três tratamentos.

Os dados foram rodados pelo programa SISVA; apresentaram significância de ( $P > 0,05$ ) e foram submetidos ao teste de média Tukey.

#### 4.6. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ETANOL

Para a estimativa da produção de etanol levou em consideração a massa de lodo gerado, seu percentual de celulose; a situação hipotética de cem por cento do hidrolisado e a conversão da glicose à etanol segundo Figura 5:

**Figura 5:** Conversão estequiométrica da glicose a etanol e dióxido de carbono (equação de Gay-Lussac).



## 5. RESULTADOS

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Os resultados obtidos relativos à caracterização da biomassa são apresentados na Tabela 4, que mostra a porcentagem dos teores de umidade e cinzas, bem como dos principais constituintes da biomassa lignocelulósica.

**Tabela 4:** Caracterização do Lodo da ETE da indústria de MDF

<b>CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA</b>	<b>Média aritmética do Percentual (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>Teor de Umidade</b>	52,52	± 0,29
<b>Teor de Cinzas</b>	5,65	± 0,03
<b>Teor de Extrativos</b>	7,13	± 1,77
<b>Teor de Lignina</b>	14,90	± 0,48
<b>Teor de Holocelulose</b>	13,29	± 0,03
<b>Teor de Alfacelulose</b>	12,89	± 0,29
<b>Teor de Hemicelulose</b>	0,29	± 0,14

Fonte: Da autora (2019).

Para fins de comparação dos resultados encontrados na caracterização da amostra estudada, utilizou-se referências de autores que citam biomassas para fins de obtenção de etanol segunda geração e/ou lodo de origem doméstica, cujos valores são poucos variáveis e conhecidos.

Na caracterização da biomassa é possível observar um alto teor de umidade característica dos lodos em geral e isso se deve ao fato do resíduo ser proveniente de uma ETE industrial, cujo material é advindo dos setores que fazem uso da água para fins de lavagem e cozimento do cavaco. O valor encontrado de 52,52% é inferior quando comparados com outras amostras de lodo (de origem doméstica) encontrados nas literaturas: 80% Lee et al., (2011); 71 % em lodo proveniente de ETE de Barueri – SP; 82 % lodo da ETE de Franca – SP (ANDREOLI, 1999; BETIOL, 2004; FERNANDES et al., 2005)



As cinzas encontradas em amostras de origem vegetal representam os minerais presentes na amostra e também podem ser resultantes dos materiais com os quais ela esteve em contato ao longo do processo, desde a extração da madeira até seu cozimento, como por exemplo, a presença de sílica. Quando comparado com outra biomassa, o teor encontrado de 5,65% no lodo é inferior a valores como 7,41 % encontrados em estudo com a casca de arroz (ALVES, 2017).

Os extrativos representam vários compostos presentes na amostra, tais como sais e açúcares diversos, e podem variar em quantidade e qualidade. O valor encontrado na amostra, de 7,13% está dentro dos valores esperado segundo a literatura, pois que, quando a origem da amostra provém de madeiras esse teor varia de 2 a 5 %, podendo alcançar até 15 % dependendo da espécie (MIYAUCHI; MORI; ITO, 2005; ZHANG et al., 2007).

De acordo com Santos, et al., (2012) na composição da madeira, espera-se um percentual de lignina que varia de 16 a 24 %, o resultado encontrado na amostra analisada que tem origem diferentes madeiras processadas foi de 14,90% , valor inferior e que pode variar de acordo com outros fatores como tipo e idade da planta. A determinação do teor de lignina no processo de obtenção do etanol se deve a escolha do melhor pré-tratamento para biomassa.

O teor de holocelulose encontrado na amostra foi de 13,29 %, esse valor representa os carboidratos totais presentes em uma célula vegetal. Quando desse valor se retira o teor de alfacelulose, observa-se que há apenas 0,5 % de outros carboidratos além da celulose.

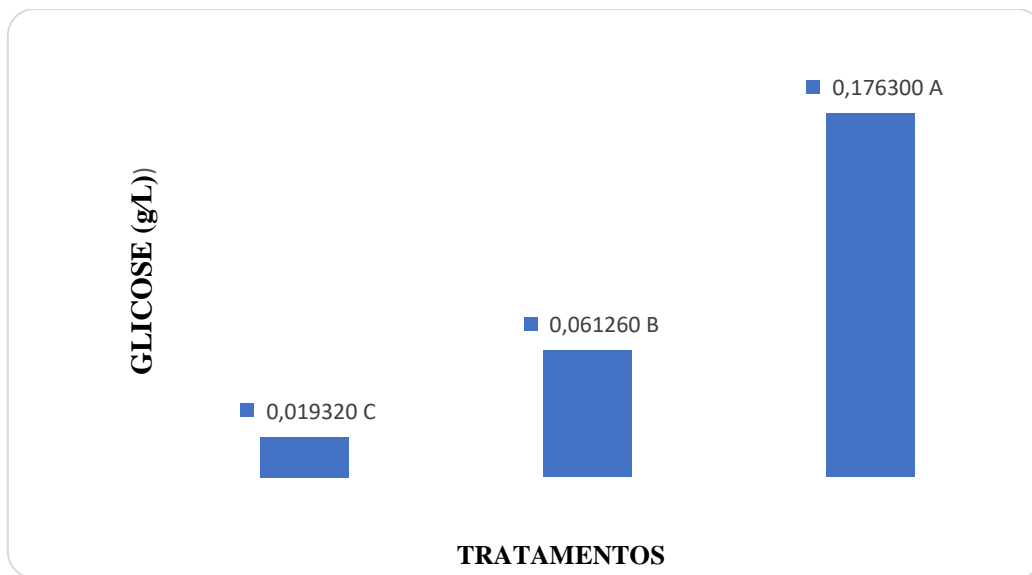
A hemicelulose tem valores que variam de 2 a 50 % nas principais biomassas estudadas para obtenção de etanol segunda geração (SANTOS et al., 2012) . De acordo com a amostra analisada no presente trabalho o valor de 0,29% foi muito abaixo dos valores já encontrados em outros estudos.

A alfacelulose, assim denominada a celulose não degradada pelo processo de análise, está presente na amostra com teor de 12,89 %. Esse valor é baixo, quando comparados com os valores das principais matérias primas, como a palha de cana (40-44%), bagaço da cana (32-48%), madeira (43-47%) dentre outros, descritos pela literatura de Santos et al., (2012). No entanto, para fins de comparação, não há registros de estudos com o lodo para fins de obtenção de etanol. Esses valores podem ainda variar de acordo com o material processado e com fatores intermediários ao processo industrial que venham a modificar os constituintes presentes no lodo.

## 5.2.PRÉ-TRATAMENTOS

Foi identificada a presença de glicose nos diferentes tratamentos analisados. As amostras de lodo com pré-tratamento e sem pré-tratamento prévio apresentaram diferentes concentrações de glicose como pode ser observado no Gráfico 1.

**Gráfico 1:** Teor de glicose encontrado nos diferentes tratamentos.



A maior concentração de glicose foi encontrada nas amostras de lodo que sofreram pré-tratamento físico-químico, a concentração com valor de 0,176300 g/L é a média dos resultados encontrados nas cinco amostras analisadas. Apesar do valor pouco expressivo, o pré-tratamento físico-químico que já é bastante utilizado em outras biomassas, apresentou destaque nos tratamentos dos quais foram analisados, isso se deve ao fato da ação química (ora meio ácido/ora meio básico) solubilizar e precipitar constituintes como a lignina presente no material, de modo que a celulose fique mais propícia à hidrólise, além do processo físico e alcalino provocado pelo vapor de água e da base, que aumentam os poros e a superfície de contato para que a enzima possa atuar com maior eficiência.

As amostras de lodo que não sofreram pré-tratamento algum, considerando a hipótese de uma provável alteração nas características do lodo proveniente do processo industrial, apresentaram uma média de 0,061260 g/L de glicose. Esse resultado foi de suma importância para pesquisa, uma vez que não há pré-tratamento e mesmo assim há presença de

celulose/glicose, significa dizer menos custos no processo de obtenção de etanol, pois uma das etapas com maior custo é o pré-tratamento.

Nas amostras de lodo com pré-tratamento utilizando peróxido de hidrogênio apresentaram média de concentração de 0,019320 g/L de glicose. Esse valor ficou abaixo dos valores encontrados nas concentrações das amostras sem tratamento, implica dizer que o tratamento com peróxido de hidrogênio 1% foi ineficaz ou sugere que o pré-tratamento pode ter gerado inibidores durante o processo.

Segundo Hamelinck et al., (2005) os pré-tratamentos alcalinos são geralmente mais eficazes na solubilização da lignina. O bom desempenho também foi verificado no lodo proveniente do processo de MDF, quando comparado com os demais tratamentos submetidos.

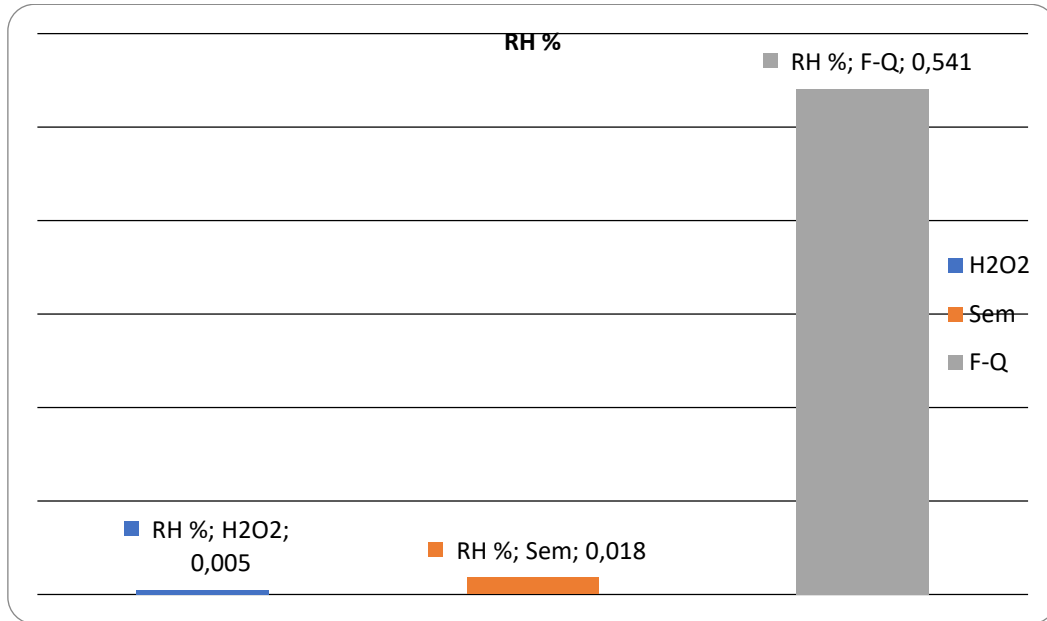
No decorrer das análises observou-se uma variação nos valores encontrados entre as diferentes amostras de um mesmo tratamento, devido ao fato desse lodo especificamente ser um material sem referencia de estudo, pressupõe que devido ao processo industrial que a biomassa sofreu possa o ter tornado instável, visto que existe a adição de produtos químicos que podem interferir na sua composição.

### **5.3.RENDIMENTO DE HIDRÓLISE**

A concentração de glicose obtida a partir do hidrolisado encontrado nas amostras do lodo industrial da fábrica de MDF mostrou-se baixa quando comparada com outros valores obtidos em diferentes biomassas segundo estudos. Na casca de arroz foram encontradas concentrações de glicose que variam de 4,48 a 11, 04 g/L utilizando como pré-tratamento o físico-químico; valores de 0,69 g/L foram encontrados na palha de arroz, e 0,68 g/L de glicose foi obtido a partir do bagaço da cana-de-açúcar (ALVES, 2017); a concentração de 0,096 g/L foi encontrado na serragem pré-tratada com líquidos iônicos (SANTOS, 2015); e 55,15 g/L no bagaço da cana pré-tratada com peróxido de hidrogênio (GUERRA, 2014).

Os valores da concentração de glicose quando analisados com os rendimentos de hidrólise mostram que os pré-tratamentos utilizados no lodo proveniente do tratamento físico químico da ETE da fábrica de MDF não foram eficazes.

**Gráfico 2:** Rendimento de hidrólise nos diferentes tratamentos.



O tratamento com peróxido de hidrogênio apresentou a menor concentração de glicose e menor rendimento do hidrolisado, esse valor é inferior a concentração encontrada na amostra de lodo sem pré-tratamento, o que sugere que o pré-tratamento com peróxido de hidrogênio, pode ter degradado a celulose ou gerado substâncias inibidoras durante o processo e que tenha prejudicado o processo de hidrólise da enzima, fato esse que gerou baixa concentração de glicose.

De modo geral, os valores de rendimento de hidrólise foram muito baixos, nos indicando que não foram suficientes para hidrolisar boa parte da celulose presente nas amostras de lodo. Outro fator que pode ter colaborado para o baixo rendimento de hidrólise nos diferentes tratamentos pode estar relacionado com a composição química desconhecida do material, que pode ter inibido a atividade enzimática, visto que o lodo, biomassa em questão, recebe uma carga de produtos químicos ao longo do processo industrial do MDF e do tratamento do efluente.

#### 4.7. ANALISE ESTATÍSTICA

Na Tabela 5 está o resumo dos resultados encontrados nas repetições realizadas com os diferentes tratamentos.

**Tabela 5:** Quadro ANAVA com os resumos dos valores referentes ao Delineamento Inteiramente Casualizado.

FV	GL	QM
TRATAMENTO	2	0,100343*
ERRO	12	0,003230
TOTAL CORRIGIDO	14	
CV (%)		21,53

\*houve diferença estatística significativa entre os resultados.

De acordo com o estudo estatístico, houve diferença significativa entre os tratamentos analisados, de modo que ficam assim representados: físico-químico (A), sem pré- tratamento (B) e com peróxido de hidrogênio 1 % (C).

#### 5.4. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ETANOL

O valor aproximado de lodo gerado ao longo de um dia de produção de MDF é de 7 toneladas. Com esse valor, foi possível estimar uma quantidade de celulose de 900 Kg/dia a partir da caracterização do material estudado.

Levando em consideração o percentual de 12, 89% de celulose encontrado no presente estudo e considerando a hipótese de que toda celulose fosse convertida em glicose, estima-se um valor teórico de 357 Kg de etanol a cada tonelada de lodo, isso representa 475 L/T. Os valores encontrados em estudos com a palha da cana-de-açúcar 287L/ton (SANTOS, 2012), com o bagaço da cana-de-açúcar 96 L/ton, o capim elefante com 79 L/ton. (GRASEL et al., 2016) por exemplo, mostram resultados inferiores à esse. Porém esses resultados são

estimados a partir de um valor de rendimento real com a utilização de pré-tratamentos mais eficazes

## **6. CONCLUSÃO/SUGESTÕES**

Conclui-se que o lodo de MDF, apresenta teor de celulose passível de conversão em glicose, portanto considera-se uma biomassa com potencial para obtenção de etanol segunda geração.

Pode-se considerar o teor de celulose significativo, pois se trata de um resíduo, que até o momento é descartado, o teor pode ainda variar à depender da matéria prima.

Os pré-tratamentos analisados não se mostraram eficiente para a biomassa estudada, sugerem-se novos estudos nesse âmbito.

Por se tratar de um material residual e que não tem nenhuma utilidade dentro e fora do setor fabril no qual é gerado, é importante a continuidade de pesquisas com o lodo para biomassa na produção de etanol 2G, visto que suas características dependem do processo e da matéria prima e que pode variar e levar a diferentes resultados quanto aos teores de celulose encontrados nele.

Sugere-se para próximos estudos, pesquisar diferentes variações, tais como: fatores ambientais, espécies de madeira, quantidade gerada e otimização da geração final do lodo; além de outros pré-tratamentos que possibilitem melhores rendimentos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Yolanda Vieira de. OLIVEIRA, Mario Aurélio Gonçalves de. GUERRA, Sinclair Mallet-Guy. **Energia, economia, rotas tecnológicas**. Testos selecionados. Universidade de Málaga. Málaga, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1º edição: Brasília, 2002.

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Produção de biocombustíveis**. Acesso em 27/02/2018 Às 9H22 min. Disponível em [www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/etanol](http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis/etanol)

ALVES, Filipi dos Santos. **Otimização e avaliação do processo de hidrólise enzimática da casca de arroz**. Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2017

ANDRADE, Ednilton Tavares de. CARVALHO, Sérgio Garcia de. SOUZA, Lucas Fernandes de. **Programa do Proálcool e o etanol no Brasil**. Engevista V.11, n.2. p. 127 – 136, 2009.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influencia em características ambientais no agrossistema**. P.279. Londrina, 1999.

ANISH, Ramakrishnan; RAO, Mala. **Bioethanol from Lignocellulosic Biomass: Part III hydrolysis and Fermentation**. Taylor e Francis Group, LLC, 2009.

ARRUDA, A. F., MOREIRA, R. C. e SANTOS, H de M. **Caracterização de lodo e efluente de ETE e água de rio a partir de avaliação química e ecotoxicológica**. Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, C.P. 131, Goiânia-GO.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316**: Chapas de fibra de média densidade – parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

AZZAM, A. M. **Pretreatment of cane bagasse with alkaline hydrogen peroxide for enzymatic hydrolysis of cellulose and ethanol fermentation**. J. Environ. Sci. Heal. v.B24, n.4, p.421-433, 1989.

BALAT, M. **Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review**. Energy Conversion and Management, v.52, p. 858 – 875, 2011.

BALLESTEROS, I.; OLIVA, J.; NAVARRO, A. **Effect of chip size on steam explosion pretreatment of softwood**. Applied Biochemistry, v. 84, p. 97 – 110, 2000.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. BNDES, 2007.

BETIOL, W. **Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by Fusarium**. Summa Phytopathologica. V.30, n1. P.16-22, 2004.

BORGES, Fabrício. SELLIN, Noeli. MEDEIROS, Sandra Hellena Westrupp. **Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia**. Programa de Mestrado em Engenharia de Processos. Joinville, 2008.

CAMPOS, Cristiane Inácio y ROCCO LAHR, Francisco Antonio. **Caracterización del MDF Producido a Partir de Eucalipto y Adhesivo Poliuretano Natural**. Maderas, Cienc. tecnol., 2004, vol.6, no.1, p.73-84. ISSN 0718-221X.

C. I. Campos, F. A. R. Lahr. **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira.

CASTRO, E. M. **Processo de produção mecânica de MDF**. Dissertação de Mestrado. Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2000.

CHEMMÉS, Camila Sobrinho; SILVA, Fábio Cirqueira da; SOUZA, Lucas Silva; JUNIOR, Ricard Almeida de Azevedo; CAMPOS, Leila Maria Aguilera. **Estudo de Métodos Físico-químicos no pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos para a produção de etanol de segunda geração**. UFBA/UNIFACS, 2103.

CORREIA, J. A. D. S. **Estudo do pré tratamento do bagaço de caju com peróxido de hidrogênio alcalino para a produção de etanol**. UFCE: Departamento de Engenharia Química. Fortaleza, 2013.

COSTA, Aline Carvalho. **Caso de sucesso – Etanol de 2º geração**. Universidade estadual de campinas. Acesso em 20/10/16. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/>

DA SILVA, A. E. D. S. **Identificação e quantificação via técnicas Cromatografia de Ácidos Graxos com Potencial Farmacológico em Frutos Amazônicos**. Dissertação de



Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais. Universidade de São Paulo, 2012.

DE SENA, R. F.; CLAUDINO, A.; MORETTI, K.; BONFANTI, I. C.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. **Biofuel application of biomass obtained from a meat industry wastewater plant through the flotation process—A case study. Resources Conservation and Recycling (2007)**, doi:10.1016/j.resconrec.2007.07.002

FERREIRA, Érika da Silva. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

FERNANDES, S. A. P.; BETIOL, W.; CERRI, C. C.; CAMARGO, P. **Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil – atmosphere interface, on soil and on total soil carbon and nitrogen**. Geoderma. V. 125. P. 49-57, 2005.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL GTR 113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. 463 p. 1999.

GODOY, Lucia Camilo de. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. Faculdade de Tecnologia de Americana, 2013.

GOMES, Marco Paulo. **Protocolo de Kyoto: Origem**. PUC Minas, 2005.

MANOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. Poços de Caldas, 2014.

GOUVEIA, Vera Lúcia Reis da; JUNQUEIRA, T. L; CAVALETT, O; REZENDE, M. C. A. F; CHAGAS, M. F. WATANABE, M. D. B; JESUS, C. D. F. D; VALENTE, M. S; NYKO, D; MILANEZ, A. Y. **Da promessa a realidade: Como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública**. Biocombustíveis – BNDS setorial 41, p 237-294, 2015.

GRASEL, F. S., STIEHL, A. C. R., BERNARDI, L. P., HERPICH, T. L., BEHRENS M. C.; ANDRADE, J. B.; SCHULTZ, J.; MANGRICH, A.S. **Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol de Segunda geração a partir de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) e Bagaço de Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum*)**. Revista Virtual de Química. 2016.

GUERRA, J.V.S.; ANDRADE, R.R.; COSTA, A.C.; **avaliação da hidrólise enzimática de bagaço pré-tratado com peróxido de hidrogênio alcalino considerando altas cargas de sólidos**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2014.

HAMELINCK, C.N.; VAN HOOIJDONK, G.; FAAIJ, A.P.C. **Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-and long-term**. Biomass and Bioenergy, v.28, n.4 p.384-410, 2005.

HENDRIKS, A. T. W. M; ZEEMAN, G. **Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass**. Bioresource technology, v. 100, n. , p. 8-10, 2009.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de fibras de madeira**. UFPR (2005)

LANÇAS, Fernando M. **A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: finalmente “compatíveis”?**. Universidade de São Paul: Instituto de Química de São Carlos. São Paulo, 2009.

LEE, Erich Shen Higa. SANTOS, Francisco José. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético**. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Londrina, 2011.

LI, J.; HENRIKSSON, G. ; GELLERSTEDT, G. **Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion**. Bioresource technology, v.98 n. 16, p.3061 – 3068, 2007.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Updated edition covers composite wood products. Miller Freeman, San Francisco, 1993.

MENEZES, T. J. B.; HENNIES, P. T. **Influência do pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com peróxido alcalino e hidróxido de sódio no sistema celulolítico de A. niger**. Coletânea do ITAL, v. 21, n. 2, p. 213-219, 1991.

MEYER, S. A. S. MYMRINE, V. PAWLOWSKY, U. **Fabricação de um material de construção civil a partir do aproveitamento de cinzas e de lodo físico-químico oriundos da produção de painéis de mdf**. Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFPR, Departamento de Construção Civil/UTFPR. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Curitiba, 2007.

MILANEZ, A Y; FILHO, P. de Sá C. F; ROSA, E. S. da. **Perspectivas para o etanol brasileiro.** 2008.

MODENBACH, Alicia A., Nokes, Sue E. **The use of hig-solids loadings in biomass pretreatment – a review.** Biotechnology and bioengineering. 2012.

MORAIS, João Paulo Saraiva. ROSA, Morsyleide de Freitas. MARCONCINI, José Manoel. **Procedimento para Análise Lignocelulósica.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Campina Grande, 2010.

MOSIER, N; HENDRICKSON, R; HO, N; SEDLAK, M; LADISCH M. **Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover.** Bioresouce technology, v.96 n.18, p 1986 – 1993, 2005.

PEDROZA, Marcelo Mendes. VIEIRA, Gláucia Eliza Gama. SOUSA, João Fernandes de. PICKLER, Arliza de Castilho. LEAL, Edina Ruth Mendes. MILHOMEN, Cleide da Cruz. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão.** Novo Hamburgo, 2010.

PETRI, Denise F. S. e OGEDA, Thais Lucy. **Hidrólise Enzimática de Biomassa.** Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

RABELO, S. C. **Avaliação e Otimização de pré-tratamento e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a Produção de Etanol de Segunda Geração – Campinas, SP, 2010.**

RODRIGUES, F. A; SANTIAGO, B. L. S; **Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão.** Universidade de Viçosa, Departamento de Química. Brasil, 2017.

RODRIGUES, R. C. EMBRAPA - **Métodos de análise bromatológica de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos.** Pelotas: EMBRAPA, 2010. Disponível em: [http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento\\_306.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_306.pdf)>Acesso em: 10 set. 2012.

ROSSI, Eduardo de; LINDINO, Cleber Antonio; SANTOS, Kenia Gabriela dos; BARICCATTI, Reinaldo Aparecido; REMONEZ, Paulo André; ANTONELI, Jhonatas; NADALETI, Willian Cezar. **Pré-tratamento na produção de etanol de segunda geração.** Santa Maria, 2014.

SÄNGER, M.; WERTHER, J.; OGADA, J. **NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emission characteristics from fluidized bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge.** Fuel, v. 80, p. 167-177, 2001.

SANTOS, Danielle da Silveira dos. **Produção de etanol de segunda geração por *Zymomonas mobilis* naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica.** Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, Fernando A., QUEIROZ, José H. de., COLODETTE, Sérgio A. FERNANDES Valéria M., REZENDE, Guimarães e Sebastião T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol.** Universidade Federal de Viçosa, 2012.

SANTOS, Geraldo Aurélio Alves. **Utilização de líquidos iônicos no pré tratamento de biomassa lignocelulósica para obtenção de etanol de segunda geração.** Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2015.

SILVA, Juarez de Sousa e. JESUS, Júlio Cesar de. **Noções sobre fermentação e produção de álcool na fazenda e sistema cooperativo.** Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2007.

SILVA, Neumara Luci Conceição. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose.** Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Vinícius Fernandes Nunes da. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** Universidade de São Paulo. Lorena, 2009.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos.** UFMG. 3ª edição. Vol.1., 2005.

SORME, L., LAGERKVIST, R., **Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm** Sci. Total Environ. 2002, 298 131–145.

TEXEIRA, Silvio Rainho. **Caracterização de resíduo de estações de tratamento de água (eta) e de esgoto (ete) e o estudo da viabilidade de seu uso pela indústria cerâmica.** Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT.

TORQUATO, Luciane Paes. **Caracterização dos painéis mdf comerciais produzidos no Brasil.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008

WIDSTEN, P. **Oxidative Activation of wood Fibers for the Manufacture of Medium-Density Fiberboard (MDF)**. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Department of Forest Products Technology. Helsinki University of Technology. Helsinki, 2002.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based composites – The panel and building components of the future**. Proceedings. IUFRO, Canada, p.5-2, 1998.

ZHENG, G.; KOZIN'SKI, J.A. **Thermal events occurring during the combustion of biomass residue**. Fuel. v. 79, p. 181– 192, 2000.