



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB  
FACULDADE UNB GAMA – FGA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

**CARACTERIZAÇÃO E HIDRÓLISE DO  
CAJUZINHO-DO-CERRADO PARA  
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**Bárbara Hélen da Silva**

Brasília, DF  
2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade UnB Gama

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### **CARACTERIZAÇÃO E HIDRÓLISE DO CAJUZINHO-DO-CERRADO PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**Bárbara Hélien da Silva**

*Trabalho submetido ao curso de Engenharia de Energia  
da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia de Energia*

#### Banca Examinadora

Prof. Dra.: Juliana Petrocchi Rodrigues, \_\_\_\_\_  
FGA/UnB  
*Orientadora*

Prof. Dra.: Sarah Silva Brum \_\_\_\_\_  
*Coorientadora*

Prof. Dra.: Roseany de Vasconcelos Vieira Lo- \_\_\_\_\_  
pes, FGA/UnB  
*Membro Convidado*

Doutoranda: Ana Caroline Martins Vieira, \_\_\_\_\_  
IQ/UnB  
*Membro Convidado*

---

Bárbara Hélien da Silva

CARACTERIZAÇÃO E HIDRÓLISE DO CAJUZINHO-DO-CERRADO PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO/ Bárbara Hélien da Silva. – Brasília, DF, 2018

36 p.: il. ; 30 cm.

Orientador(a): Prof. Dra.: Juliana Petrocchi Rodrigues, FGA/UnB

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UNB, Faculdade do Gama - FGA, 2018.

1. Biomassa. 2. Cajuzinho-do-Cerrado. 3. Energia. 4. Conversão. I. Prof. Dra.: Juliana Petrocchi Rodrigues, FGA/UnB. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. CARACTERIZAÇÃO E HIDRÓLISE DO CAJUZINHO-DO-CERRADO PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

CDU 1234587.1

---

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho aos meus pais Marcos e Maria Gorete.*

*Bárbara Hélen da Silva*



## Agradecimentos

*Agradeço primeiramente aos meus pais Marcos e Maria Gorete, pelo amor e apoio em todos esses anos de vida, e por todo o incentivo aos estudos, que foi fundamental para estar aqui hoje.*

*Ao meu namorado e amigo Gustavo Maia, que esteve presente comigo nesses 5 anos de curso, sempre me ajudando e apoiando nos momentos bons e difíceis da vida e faculdade.*

*Aos amigos que ganhei na Universidade de Brasília, que fizeram da minha rotina um pouco mais leve e divertida, mesmo com toda a pressão cotidiana (Bia, Gu, Lídia, Paloma, Tai, Isa, Belotti, Gabriel, Igor, Emilly).*

*À minha amiga Carol que ouviu tantos desabafos relacionados a árdua rotina da graduação, sempre me dando força e me incentivando a não desanimar.*

*Ao meu cachorro Chicó que sempre demonstra seu amor e amizade por mim, e alegra meu fim de dia quando chego cansada. Agradeço também à minha cachorra Belinha que infelizmente não está mais entre nós, mas que foi muito amada e que me ajudou bastante em dias difíceis durante a graduação.*

*À minha orientadora, Juliana, por sua orientação, ensinamentos, por acreditar em meu potencial para escrever este trabalho e por tentar sempre me tranquilizar nos momentos em que demonstrei insegurança.*

*À minha co-orientadora, Sarah, por ter me acolhido no IQ, e me ajudar nas análises deste trabalho.*

*Agradeço de coração às mulheres da química que me ajudaram em vários momentos durante a realização dos experimentos no laboratório: Paula (FGA), Paula (IQ), Roseane, Ana e Carol.*

*Bárbara Hélen da Silva*

---

## RESUMO

A crescente demanda por energia no mundo e a escassez de combustíveis fósseis levam ao estudo e à otimização de uso de novas alternativas energéticas, introduzindo no mercado fontes limpas de energia. A biomassa lignocelulósica é composta principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, e torna-se uma interessante opção para aumentar a oferta de energia renovável no Brasil. Com o objetivo de valorizar culturas do Cerrado brasileiro, rico em frutas, foi estudado neste trabalho o potencial do bagaço do cajuzinho-do-cerrado para produção do etanol por meio de análise imediata, análise química, análise termogravimétrica, FTIR e hidrólise para quantificação de glicose. O Bagaço do Cajuzinho do Cerrado (BCC) apresentou para a análise imediata 13,3% de umidade, 0,75% de cinzas, 78,3% de voláteis e 20,95% de carbono fixo. No espectro infravermelho, foram identificadas nas 5 principais bandas as ligações O-H, C-H, C=O e C-O-C. Na análise termogravimétrica foi possível verificar a perda de 7% da massa devido a umidade, picos de holocelulose e celulose, e um valor resultante de 27,2% de resíduos sólidos em 700°C. O valor encontrado para a lignina total foi de 40,2%, superior à literatura e 45,75% para a holocelulose, com valor obtido teoricamente a partir da lignina, umidade e cinzas. A hidrólise ácida permitiu um rendimento máximo de 58,2%, com condições 2,5% de  $H_2SO_4$ , 60 minutos e 120°C. Por meio dos resultados alcançados neste trabalho, foi possível concluir é viável a produção do etanol de segunda geração a partir do BCC, desde que passe por um pré-tratamento capaz de possibilitar o aumento significativo do seu teor de celulose.

**Palavras chave:** Biomassa, Cajuzinho-do-Cerrado, Energia, Conversão.

---

## ABSTRACT

The growing demand for energy in the world and the scarcity of fossil fuels lead to the study and optimization of the use of new energy alternatives by introducing clean sources of energy into the market. Lignocellulosic biomass consists mainly of cellulose, hemicellulose and lignin, is an interesting option to increase the supply of renewable energy in Brazil. With the objective of valorization of the Brazilian savannah, rich in fruits, the potential of the cassava bagasse for the production of ethanol through immediate analysis, chemical analysis, thermogravimetric analysis, FTIR and hydrolysis for the quantification of glucose was studied in this work. The BCC presented for immediate analysis 13.3% moisture, 0.75% ash, 78.3% volatiles and 20.95% fixed carbon. In the infrared spectrum, the O-H, C-H, C = O and C-O-C bonds were identified in the 5 main bands. In the thermogravimetric analysis it was possible to verify 7% of the mass due to moisture, holocellulose and cellulose peaks, and a resulting value of 27.2% of solid residues at 700°C. The value found for total lignin was 40.2%, superior to the literature and 45.75% for holocellulose, with a value obtained theoretically from lignin, moisture and ashes. Acid hydrolysis allowed a maximal yield of 58.2%, under 2.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conditions, 60 minutes and 120°C. By means of the results obtained in this work, it was possible to conclude that it is feasible to produce second generation ethanol from the BCC, provided that it undergoes a pre-treatment capable of enabling a significant increase in its cellulose content.

**Keywords:** biomass, Cajuzinho-do-Cerrado, energy, conversion

# LISTA DE FIGURAS

1	Oferta Interna de Energia no Brasil – 2018 (%).....	2
2	Oferta Interna de Energia Elétrica – 2018 (%) .....	3
3	Fontes de Biomassa .....	3
4	Esquema estrutural simplificado das fibras do material lignocelulósico .....	5
5	Composição mássica (% m/m) da biomassa lignocelulósica .....	5
6	Representação esquemática da celulose.....	6
7	Representação esquemática da hemicelulose .....	7
8	Representação esquemática da lignina .....	8
9	Frutos e pseudofrutos de caju do cerrado .....	11
10	Planta de <i>A. othonianum</i> .....	11
11	Bagaço do Cajuzinho do Cerrado <i>in natura</i> .....	14
12	Espectro de Infravermelho da amostra de BCC .....	23
13	Curva Termogravimétrica do BCC .....	24
14	Lignina e Holocelulose obtidos neste trabalho e na literatura. ....	26
15	Cores das Hidrólises .....	27
16	Rendimento em glicose x tempo de reação .....	28

# LISTA DE TABELAS

1	Quantidade de celulose, hemicelulose e lignina em algumas biomassas. ....	6
2	Teor de Umidade de algumas biomassas .....	9
3	Teor de Voláteis de algumas biomassas .....	9
4	Teor de Cinzas de algumas biomassas.....	10
5	Teor de Carbono Fixo em algumas biomassas .....	10
6	Condições reacionais para a hidrólise. ....	19
7	Quantidade de reagentes utilizados na quantificação da glicose .....	20
8	Teor de umidade do BCC, BC e BCA.....	21
9	Teor de cinzas do BCC, BC e BCA .....	22
10	Teor de voláteis do BCC, BC e BCA .....	22
11	Teor de carbono fixo do BCC, BC e BCA.....	23
12	Lignina e Holocelulose obtidas neste trabalho. ....	25
13	Resultados dos pré-tratamentos para o BC. ....	26
14	Concentração de Glicose e Rendimento. ....	28

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>2</b>
1.0.1 CONTEXTUALIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	2
1.1 BIOMASSA .....	3
1.1.1 ESTRUTURA DA BIOMASSA .....	5
1.1.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA .....	8
1.2 CAJUZINHO-DO-CERRADO .....	10
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3 MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>14</b>
3.1 MATERIAL.....	14
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DO CAJUZINHO-DO-CERRADO.....	14
3.2.1 ANÁLISE IMEDIATA .....	14
3.2.2 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR) .....	16
3.2.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) .....	16
3.2.4 ANÁLISE QUÍMICA .....	17
3.2.5 REAÇÕES DE HIDRÓLISE .....	19
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
4.1 ANÁLISE IMEDIATA .....	21
4.1.1 TEOR DE UMIDADE .....	21
4.1.2 TEOR DE CINZAS .....	21
4.1.3 TEOR DE VOLÁTEIS.....	22
4.1.4 TEOR DE CARBONO FIXO.....	22
4.2 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR) .....	23
4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) .....	24
4.4 ANÁLISE QUÍMICA .....	25
4.5 REAÇÕES DE HIDRÓLISE .....	26
4.5.1 QUANTIFICAÇÃO DA GLICOSE .....	27
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>

# LISTA DE SÍGLAS

BC	Bagaço do Caju
BCA	Bagaço da Cana de Açúcar
BCC	Bagaço do Cajuzinho do Cerrado
DTG	Termogravimetria derivada
FTIR	Espectroscopia de Infravermelhos
TG	Termogravimetria

# INTRODUÇÃO

O problema mundial com segurança energética e ambiental impulsionou a demanda por novas fontes de energia, pois com o aumento contínuo da taxa de consumo dos combustíveis fósseis, as reservas tendem a se esgotar (VOHRA *et al.*, 2014). No Brasil, essa tendência está aumentando a uma velocidade maior do que a média global. No decorrer da última década, o consumo brasileiro de energia apresentou um crescimento superior a 33%, tornando o país o 9º maior consumidor de energia no mundo e o 3º maior no hemisfério ocidental (RATH, 2014).

O Brasil apesar de possuir um do alto consumo de energia, em comparação ao restante do mundo, tem uma forte participação das fontes renováveis em sua matriz energética, correspondendo a quase metade de toda a energia ofertada. Isso mostra que o país possui uma forte política e estratégia energética, buscando o fortalecimento das fontes alternativas de energia (RODRIGUES, 2006).

Nesse contexto, a biomassa ganha destaque em aplicações na produção de energia, pois o Brasil como grande produtor de biomassa vegetal proveniente de resíduo de processos agroindustriais, florestais e madeireiros, possui grande potencial para empregar técnicas para a conversão da biomassa, como pirólise, gaseificação e outras.

A biomassa lignocelulósica pode ser adquirida a partir de diversas matérias-primas tais como: madeira, casca de arroz, sabugo do milho, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros. Ela é composta principalmente por celulose, hemicelulose (polímeros derivados de carboidratos) e lignina. (JÚNIOR, 2013).

O cerrado brasileiro é rico em produção de frutas nativas, e entre elas está o cajuzinho-do-cerrado, consumido pela população ao natural ou por meio de sucos, geléias, aguardentes, e outros (GONÇALVES *et al.*, 2009). Porém, seu bagaço ainda é descartado, e, visando a exploração dessa fruta energeticamente, este trabalho tem como objetivo a caracterização e o estudo da utilização do bagaço do cajuzinho-do-cerrado para produção de etanol de segunda geração.



# 1 REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.0.1 Contextualização energética

Os países industrializados têm suas necessidades energéticas supridas principalmente por carvão e petróleo. Esse fato alerta sobre a enorme quantidade de combustíveis fósseis utilizados, e a poluição atmosférica gerada pela obtenção desses recursos, assim como em seu processo produtivo, como no refino (BOUBEL *et al.*, 2013).

Com tendência de escassez dos recursos fósseis, a busca por fontes alternativas se tornou inevitável no mundo e no Brasil, e nesse cenário de incentivo, o país conseguiu atingir uma posição de destaque, possuindo uma matriz energética limpa e diversificada.

Em 2013, a participação de fontes renováveis na matriz energética era de 40,4%, e cresceu para 42,7% em 2018, como pode ser visto na Figura 1. Observa-se nesse gráfico uma considerável participação da biomassa da cana, correspondente a 17,2% da oferta (MME, 2018).

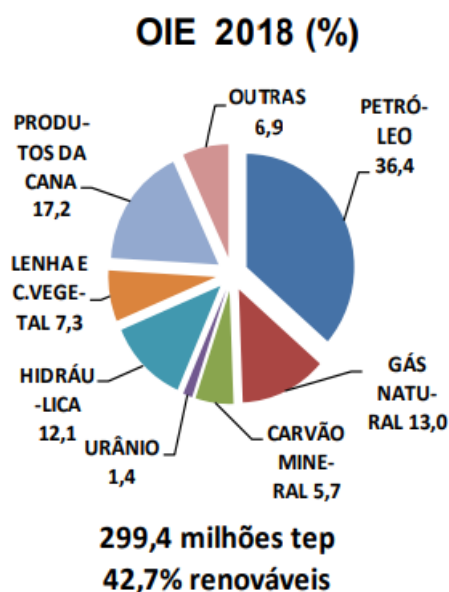


Figura 1: Oferta Interna de Energia no Brasil – 2018 (%). Fonte:(MME, 2018)

Na Matriz Elétrica Brasileira, o país passou de 80,5% para 81,6% na utilização de fontes renováveis, como mostra a Figura 2. Percebe-se a importância da participação da biomassa no gráfico, como terceira fonte mais utilizada com 8,4% em 2018 (MME, 2018).

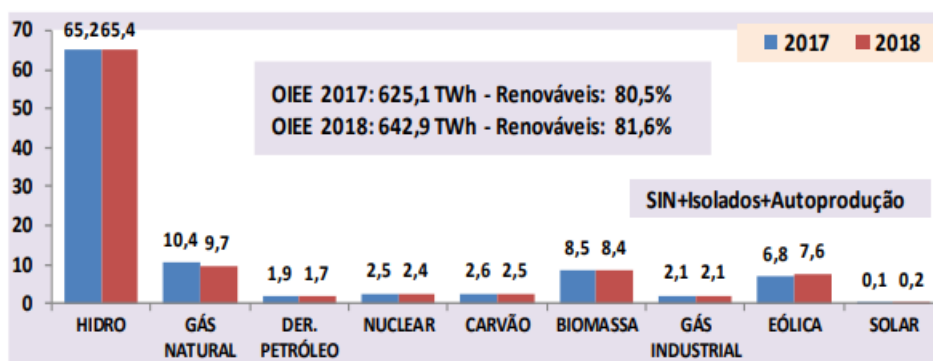


Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica – 2018 (%). Fonte:(MME, 2018)

## 1.1 BIOMASSA

Entende-se como biomassa a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados. Ela pode ser obtida a partir de vegetais não-lenhosos, vegetais lenhosos, e também de resíduos orgânicos, nos quais se encontram os resíduos agrícolas, urbanos e industriais, assim como também se pode obter biomassa dos biofluidos, como os óleos vegetais (EPE; MME, 2008). A Figura 3 mostra as classificações das biomassas, divididas em vegetais não-lenhosos, lenhosos, resíduos orgânicos e biofluidos.

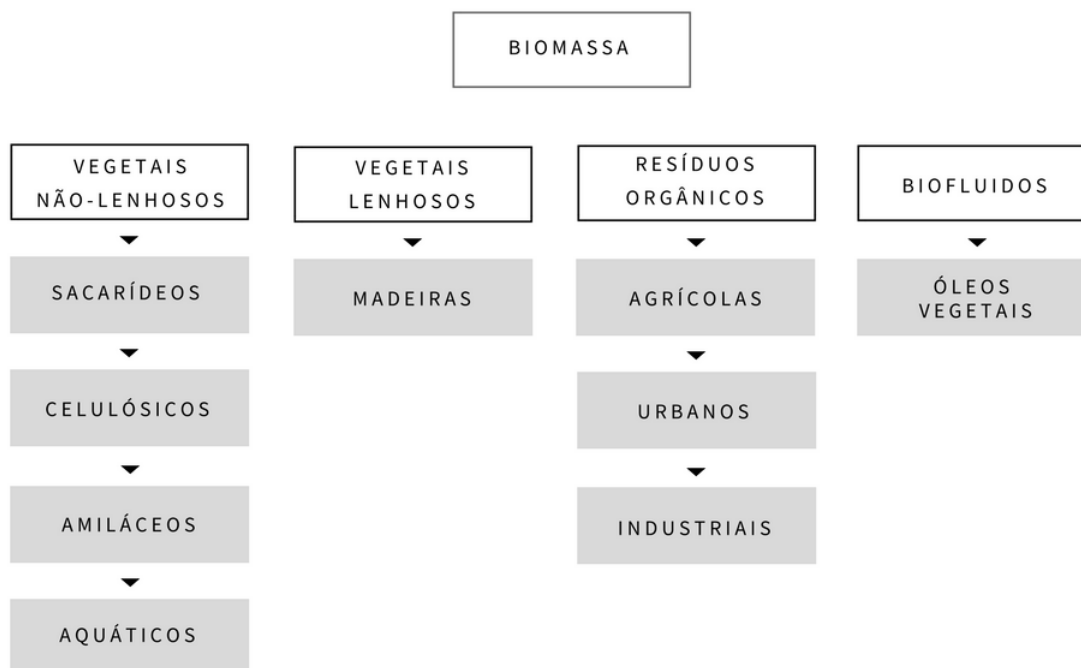


Figura 3: Fontes de Biomassa. Fonte: adaptada de (EPE; MME, 2008)

O aproveitamento da biomassa pode ser realizado por meio de diferentes meios de conversão energética, tais como:

- Combustão ou queima direta: processo mais simples e antigo de conversão, a combustão ocorre pela oxidação parcial ou total do carbono e do hidrogênio presentes na biomassa. A energia química é convertida em calor através da combinação do oxigênio com o hidrogênio para formar vapor e com o carbono para formar dióxido de carbono (BRAND, 2010). A eficiência desse processo é condicionada pelo teor de umidade da biomassa, pois se o teor for superior a 60% no momento da produção de energia, seu poder calorífico é reduzido pela perda de calor requerida na evaporação da água (JIMÉNEZ; GONZÁLEZ, 1991).
- Gaseificação: pode ser definida como o processo de decomposição térmica da biomassa originando uma mistura de gases, e os resíduos lignocelulósicos com baixa umidade (<40%) são os mais utilizados na gaseificação como forma de aproveitamento energético (BRAND, 2010). O processo realiza-se por meio da oxidação parcial a temperaturas entre 800 e 1000°C e em pressões até 33 bar (LORA *et al.*, 2012). Em relação à queima direta, possui vantagens pela facilidade de distribuição do gás e controle da queima, permitindo a utilização em motores de combustão interna, porém é necessária uma tecnologia mais complexa e menos eficiente (ANDRADE, 2007).
- Pirólise: degradação térmica na ausência de agente oxidante, ou com fornecimento limitado de oxigênio de forma que a gaseificação não ocorra em grande quantidade. Oposto à gaseificação, o processo é realizado em temperaturas mais baixas, em torno de 400°C a 800°C. A partir da pirólise são obtidos normalmente gás, licor pirolenhoso e carvão vegetal (BRIDGWATER; BRIDGE, 1991). Na pirólise rápida, com temperaturas entre 800°C e 900°C, cerca de 60% do material se transformam em um gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono e apenas 10% em carvão sólido, tornando o processo competitivo com a gaseificação (ANDRADE *et al.*, 2004).
- Hidrólise: processo utilizado na obtenção do etanol, é a etapa na qual a celulose e hemicelulose são convertidas em açúcares, sendo que na celulose ocorre a transformação em glicose, e a hemicelulose em monossacarídeos (xilose, pentose, entre outros). Em geral, a hidrólise de hemicelulose e celulose pode ser feita por métodos ácidos ou enzimáticos, e os resultados da hidrólise dependem geralmente do tipo e composição da biomassa e condições de hidrólise. A hidrólise ácida pode ser dirigida com diferentes temperaturas, utilizando ácido concentrado ou diluído. Com o ácido diluído, a hidrólise apresenta rendimentos em relação à formação de glicose de 50 a 60%, e exige um curto tempo de reação que varia entre segundos e minutos e com altas temperaturas, enquanto que, com ácido concentrado, apresenta rendimento superior, com menores temperaturas, porém, com maior custo (GURGEL, 2010; BALAT, 2011; CHAN *et al.*, 2007).

### 1.1.1 Estrutura da Biomassa

Os materiais lignocelulósicos são formados por estruturas duras e fibrosas, compostas pela holocelulose (junção dos polissacarídeos celulose e hemicelulose que compõem cerca de 70% da massa seca), entremeados por outra macromolécula formada por álcoois aromáticos: a lignina. Esses materiais se encontram unidos por ligações covalentes e de hidrogênio (LEE, 1997). A Figura 4 mostra um esquema estrutural das fibras do material lignocelulósico, onde pode-se observar a maior quantidade de celulose e hemicelulose em relação à lignina.

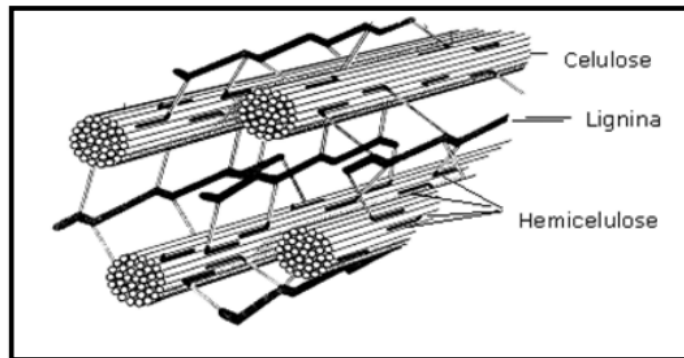


Figura 4: Esquema estrutural simplificado das fibras do material lignocelulósico. Fonte:(LEE, 1997)

Além da celulose, hemicelulose e lignina, existem outros compostos presentes em menor quantidade na biomassa lignocelulósica, os quais podem ser classificados como cinzas, extrativos, entre outros, como mostra a Figura 5.

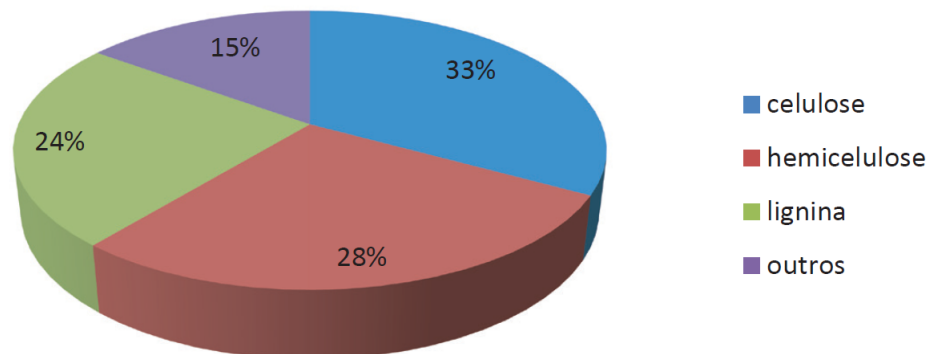


Figura 5: Composição mássica (% m/m) da biomassa lignocelulósica. Fonte:(JÚNIOR, 2013)

A quantidade desses compostos varia de acordo com o tipo de biomassa. A Tabela 1 mostra a variação da composição química básica de algumas biomassas de composição lignocelulósica, onde observa-se que as biomassas com maiores quantidades de celulose, hemicelulose são a espiga de milho, palha de milho e o bagaço de cana-de açúcar, enquanto as de menores quantidades são a palha e a casca de arroz.

Tabela 1: Quantidade de celulose, hemicelulose e lignina em algumas biomassas.

Biomassa	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referência
Espiga de Milho	42-45	35-39	14-15	(KUHAD; SINGH, 1993)(S SINGH A, 2007)
Palha de Milho	38-40	24-26	7-19	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)(ZHU; LEE; ELANDER, 2005)
Bagaço de Cana-de-Açúcar	42-48	19-25	20-42	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)(KIM; DAY, 2011)
Palha de Arroz	28-36	23-28	12-14	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)
Palha de Trigo	33-38	26-32	17-19	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)
Palha de Cevada	31-45	27-38	14-19	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)
Bagaço de Sorgo Doce	34-45	18-27	14-21	(SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)
Palha de Aveia	31-37	27-38	16-19	(SÁNCHEZ, 2009)
Palha de Centeio	33-35	27-30	16-19	(SÁNCHEZ, 2009)
Casca de Arroz	25-35	18-21	26-31	(ZHU; LEE; ELANDER, 2005)

Diante o exposto, faz-se necessário conhecer a estrutura e as principais características dos principais componentes da biomassa lignocelulósica: celulose, hemicelulose e lignina.

## Celulose

A celulose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, principal componente da biomassa vegetal (30-60% do total matéria seca de matéria-prima), é um polímero linear de glicose (HAMELINCK; HOOIJ-DONK; FAAIJ, 2005). Esse polissacarídeo natural tem anéis de D-glicose conectados um ao outro com ligações  $\beta$ -(1-4)-glicosídicas e sua representação é mostrada na Figura 6 (ZHANG; YANG; BLASIAK, 2011) (BALAT, 2011).

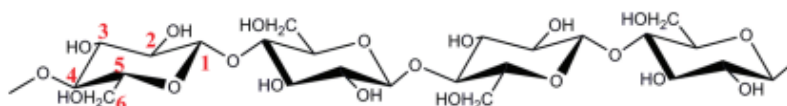


Figura 6: Representação esquemática da celulose. Fonte:(ZHANG; YANG; BLASIAK, 2011)

O vínculo extenso de hidrogênio dentro das moléculas de celulose forma sua rede cristalina através da ligação cruzada de vários grupos hidroxila, e produz micro fibrilas que tornam

as moléculas de celulose mais fortes e rígidas (LIMAYEM; RICKE, 2012). As fribilas possuem algumas regiões de alto grau de cristalinidade, e outras amorfas, com menor grau de ordenação.

Na região cristalina, as fibras são mais resistentes ao alongamento e mecanicamente do que na amorfa (VÁSQUEZ *et al.*, 2007). A estrutura compactada e com alta cristalinidade provoca a insolubilidade do polímero de celulose na água e a resistência à despolimerização (MOSIER *et al.*, 2016).

## Hemicelulose

A hemicelulose (20-40% da massa seca) é um heteropolissacarídeo complexo composto por D-glucose, D-galactose, D-manose, D-xilose, L-arabinose, ácido D-glucurônico e ácido 4-O-metil-glucurônico (BALAT, 2011) (SANTOS *et al.*, 2012). A representação esquemática da hemicelulose é mostrada na Figura 7.

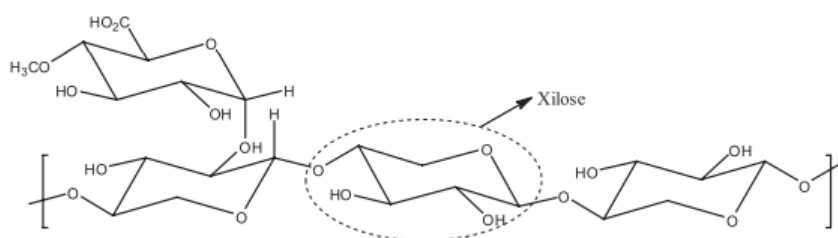


Figura 7: Representação esquemática da hemicelulose. Fonte: (SANTOS *et al.*, 2012)

Estruturalmente, é mais semelhante à celulose do que à lignina, e apresenta ramificações que interagem facilmente com a celulose, dando estabilidade e flexibilidade ao agregado. Ela é mais facilmente hidrolisada comparada à celulose devido sua natureza ramificada e amorfa (LEE *et al.*, 2007)(RAMOS, 2003). Os açúcares dominantes em hemiceluloses são manose em madeiras macias e xilose em madeiras e resíduos agrícolas (TAHERZADEH; KARIMI, 2008).

## Lignina

Lignina (15-25% da massa seca) é um aromático polímero sintetizado a partir de precursores de fenilpropanóides (BALAT, 2011). É estruturalmente variável com as espécies de plantas, mas consiste em três diferentes unidades de fenilpropanos: álcool p-cumarílico, álcool coferílico e álcool sinapílico (FENGEL; WEGENER, 1983). Essas unidades de fenilpropanos podem ser observadas esquematicamente na figura 8.

Em relação ao uso dos materiais de biomassa lignocelulósica, a lignina é uma desvantagem no processo de fermentação, pois torna a lignocelulose resistente à degradação química e biológica (TAHERZADEH; KARIMI, 2008). Na hidrólise enzimática ela atua como uma

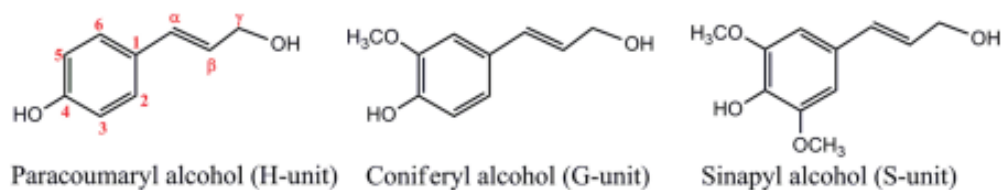


Figura 8: Representação esquemática da lignina. Fonte: (ZHANG; YANG; BLASIAK, 2011)

barreira para as enzimas que podem ser irreversivelmente capturadas pela lignina e influenciar na quantidade de enzima que a hidrólise requer, assim como dificultar a recuperação da enzima após a hidrólise.

### 1.1.2 Caracterização da Biomassa

A caracterização da biomassa é um processo importante pois permite uma compreensão mais aprofundada da mesma visando uma melhor conversão energética. Permite também prever o impacto que a biomassa fará em processos de conversão, quando sujeita a pré-tratamento, permitindo que uma matéria-prima de qualidade seja selecionada. O desenvolvimento do comércio da biomassa é dependente da sua qualidade, logo sua caracterização é o passo chave para a escolha do tipo da biomassa e sua utilização (DAVISON, 2012).

#### 1.1.2.1 Análise Imediata

A análise imediata irá determinar a porcentagem de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo presentes na biomassa.

### Teor de Umidade

Teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

Baixos teores de umidade são favoráveis, pois quanto menor a umidade de um combustível, maior será a quantidade de calor líquido liberado na sua combustão, já que parte da sua energia é responsável por aquecer e vaporizar a água do material (SCHUTZ; ANAMI; TRAVESSINI, 2010). Os teores de umidade para algumas biomassas são expostas na Tabela 8.

Tabela 2: Teor de Umidade de algumas biomassas

Biomassa	Teor de Umidade (%)	Referências
Bagaço de Cana	8,87	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
Casca de Arroz	10,61	(MORAIS <i>et al.</i> , 2006)
Resíduos de Soja	6,3	(WERTHER <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	17,1	(SILVA; SOBRINHO; SAIKI, 2004)

## Teor de Voláteis

O teor de voláteis pode ser definido como a parte da biomassa que evapora como um gás por aquecimento (MCKENDRY, 2002). Esse teor influencia a temperatura de ignição e a velocidade da reação, maior teor de material volátil significa consumo mais rápido da biomassa nos processos de conversão (VIRMOND *et al.*, 2012).

A biomassa é rica em voláteis, que constituem cerca de 75% de sua massa e isso faz com que o processo de combustão transcorra em seis etapas consecutivas bem definidas, de secagem, emissão de voláteis, ignição dos voláteis, queima dos voláteis em chama, extinção da chama dos voláteis e combustão do resíduo de carbono (LORA; NOGUEIRA, 2003).

Os valores de material volátil são diferentes para determinadas biomassas, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Teor de Voláteis de algumas biomassas

Biomassa	Teor de Voláteis (%)	Referências
Bagaço de Cana	74,88	(TAVARES, 2016)
Casca de Arroz	64,24	(MORAIS <i>et al.</i> , 2006)
Resíduos de Soja	69,6	(WERTHER <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	81,31	(PAULA <i>et al.</i> , 2011)

## Teor de Cinzas

As cinzas são constituídas de composto de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). O teor e sua composição química afetam o comportamento dos processos de conversão energética quando submetidas a altas temperaturas, no que diz respeito à formação de escórias e aglomerações, elevando os custos de manutenção e os custos globais do processo (MCKENDRY, 2002) (QUAAK; KNOEF; STASSEN, 1999) (VASSILEV *et al.*, 2010).

Baixos teores de cinzas indicam um melhor aproveitamento da biomassa em equipamentos de queima, pois as cinzas são componentes indesejáveis nos processos de produção energética (VIANA, 2017). Os valores de teor de cinzas para algumas biomassas são apresentadas na Tabela 4.



Tabela 4: Teor de Cinzas de algumas biomassas

Biomassa	Teor de Cinzas (%)	Referências
Bagaço de Cana	4,20	(KATYAL; THAMBIMUTHU; VALIX, 2003)
Casca de Arroz	23,84	(MORAIS <i>et al.</i> , 2006)
Resíduos de Soja	5,1	(WERTHER <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	1,1	(DEMIRBAS, 2004a)

## Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo é importante para a estabilidade da queima da biomassa e é definido como a fração mássica que se mantém após a libertação dos voláteis, retirando a cinza e o teor de umidade (MCKENDRY, 2002) (BORK *et al.*, 2011). Esse teor depende principalmente do do teor de material volátil, logo biomassas com altos teores de material volátil possuem baixos teores de carbono fixo. Os valores de material volátil são diferentes para determinadas biomassas, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Teor de Carbono Fixo em algumas biomassas

Biomassa	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
Bagaço de Cana	15,0	(DEMIRBAS, 2004a)
Casca de Arroz	11,90	(MORAIS <i>et al.</i> , 2006)
Resíduos de Soja	19	(WERTHER <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	18,32	(PAULA <i>et al.</i> , 2011)

## 1.2 CAJUZINHO-DO-CERRADO

O Cerrado está presente principalmente no Planalto Central do Brasil, ocupando cerca de 23% do território nacional (206 milhões de hectares), e é definido como o segundo maior bioma do país. Este bioma apresenta uma flora, que é considerada a mais rica dentre as savanas do mundo, com número estimado entre 4 mil e 10 mil espécies de plantas vasculares (SOUZA *et al.*, 2002) (PEREIRA *et al.*, 1997).

As fruteiras nativas ocupam lugar de destaque no ecossistema do cerrado e seus frutos são comercializados em feirantes e vendedores ambulantes. Os frutos apresentam elevados teores de açúcares, proteínas, vitaminas, e podem ser consumidos em forma de sucos, licores, sorvetes, entre outros. Mais de 58 espécies de frutas nativas são conhecidas e utilizadas pela população, destacando-se o cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium Othonianum Rizzini*), que é ilustrado na Figura 9 (GONÇALVES *et al.*, 2009).

O *Anacardium Othonianum Rizzini*, também conhecido como caju-de-árvore-do-cerrado, cajuzinho e cajuí, é diferenciado das demais espécies na região Central do Brasil pelo porte



Figura 9: Frutos e pseudofrutos de caju do cerrado. Fonte: (VIEIRA; CAMILLO; CORADIN, 2016)

arbóreo; é o principal cajueiro de importância econômica para a região. Seu nome é uma homenagem ao Dr. Othon Xavier de Brito Machado, primeiro botânico que relatou um cajueiro arbóreo do cerrado (RIZZINI, 1969). A Figura 10 mostra a planta de *Anacardium Othonianum*, que apresenta uma altura entre 3 e 6 metros (RIZZINI, 1969).



Figura 10: Planta *A. othonianum*. Fonte: (EMBRAPA, 2006)

As sementes se germinam com facilidade, tornando a espécie de alta produtividade. Porém suas folhas apresentam-se, geralmente, bastante atacadas por fungos (FERREIRA, 1973). O período entre junho e outubro é a época em que floresce, e se consegue entre 200 e 600 frutos por planta, com peso entre 5 e 10g. Sua colheita é feita entre setembro e outubro, a partir do segundo ou terceiro ano em que foi plantado (MENDONÇA *et al.*, 1998).

Não é muito comum encontrar pesquisas relacionadas ao bagaço do caju-do-cerrado

(BCC), porém há pesquisas com o *Anacardium Occidentale* L.. O caju é geralmente produzido na região Norte e Nordeste do Brasil. Alguns trabalhos utilizaram o bagaço do caju (BC) como objeto de estudo para produção de etanol, a maioria realizados no estado do Ceará, com o caju *Anacardium Occidentale*.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é caracterizar o bagaço do Cajuzinho-do-Cerrado para aproveitamento energético.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar a análise imediata do BCC para obter o teor de cinzas, umidade, voláteis e carbono fixo;
- Determinar o teor de lignina, holocelulose, hemicelulose e celulose;
- Realizar a análise termogravimétrica;
- Realizar análise FTIR
- Realizar hidrólise para quantificação da glicose;

# 3 MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

## 3.1 MATERIAL

O bagaço de cajuzinho do cerrado utilizado neste trabalho foi obtido na Central do Cerrado. O bagaço pode ser visto na Figura 11, que foi congelado até seu uso.



Figura 11: Bagaço do Cajuzinho do Cerrado *in natura*

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DO CAJUZINHO-DO-CERRADO

### 3.2.1 Análise Imediata

Para a determinação dos teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, os procedimentos foram baseados na ASTM 8112/1986, com adaptações, pois tal norma foi produzida para análise de carvão vegetal.

As adaptações consistiram na substituição dos cadinhos de platina por cadinhos de porcelana, a realização dos ensaios em triplicata e na massa utilizada para os teores de cinzas que foi aumentada para 2g, tendendo ao aumento proporcional das cinzas medidas para a realização de outras análises químicas.

### 3.2.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade foi obtido a partir de 1g de amostra com granulometria menor que 60 mesh. As amostras foram colocadas em placas de petri de massa conhecida, e em seguida na estufa a 105°C até massa constante. Após isso, foram retiradas da estufa, resfriadas em dessecador e as massas das placas de petri com as amostras sem umidade foram registradas para realizar o cálculo conforme equação abaixo (VIANA, 2017):

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

TU = teor de umidade em percentual (%);

$m_0$  = massa inicial da amostra, em g;

$m_1$  = massa final da amostra, em g.

### 3.2.1.2 Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi obtido a partir de 2g de amostra seca com granulometria menor que 60 mesh. As amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana de massa conhecida, e colocados em uma mufla, pré-aquecida a 700°C. Os cadinhos permaneceram dentro da mufla até a calcinação total do material, por um período de 5 horas. Após a calcinação, os cadinhos foram retirados da mufla e resfriados para que suas massas pudessem ser anotadas para realização do cálculo do teor de cinzas a partir da equação abaixo (VIANA, 2017):

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

CZ = teor de cinzas em percentual (%);

$m_0$  = massa do cadinho, em g;

$m_1$  = massa do cadinho + resíduo, em g;

m = massa da amostra, em g.

### 3.2.1.3 Teor de Voláteis

O teor de voláteis foi obtido começando com 1g de amostra seca com granulometria menor que 60 mesh. As amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana de massa conhecida e

com tampa, e posteriormente colocados na porta de uma mufla, previamente aquecida a 900°C. O tempo de permanência do cadinho na porta da mufla foi de 3 minutos e dentro da mesma por 7 minutos. Após isso, os cadinhos foram resfriados, e tiveram suas respectivas massas serão anotadas para realização do cálculo conforme equação abaixo (VIANA, 2017):

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad (3)$$

MV = teor de voláteis em percentual (%);

$m_2$  = massa inicial do cadinho + amostra, em g;

$m_3$  = massa final do cadinho + amostra residual, em g;

m = massa da amostra, em g.

#### 3.2.1.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo foi calculado com base nos teores de voláteis e cinzas, utilizando a equação abaixo (VIANA, 2017):

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad (4)$$

Onde:

CF = Teor de carbono fixo;

MV = Teor de materiais voláteis em percentagem (%);

CZ = Teor de cinzas em percentagem (%).

### 3.2.2 Espectroscopia na região do Infravermelho (FTIR)

Os espectros de FTIR foram feitos no equipamento Varian-640 equipado com um detector TA DLaTGS, utilizando pastilhas de KBr obtidas por pesagem de misturas preparadas com 2 mg de amostra e 200 mg de KBr de grau espectroscópico.

### 3.2.3 Análise Termogravimétrica (TG)

As análises termogravimétricas foram feitas em um equipamento modelo DTG-60 Shimadzu. As amostras foram aquecidas de 25 °C até 700 °C com uma taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup>, sob atmosfera de nitrogênio a 50 cm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.

### 3.2.4 Análise Química

#### 3.2.4.1 Teor de Lignina

##### Teor de Lignina Insolúvel

Para obter o teor de lignina do bagaço do cajuzinho, o material foi submetido à hidrólise ácida em banho termostatzado (temperatura controlada) a 45°C. Primeiramente foram separadas três amostras de 1g em um béquer de 150 mL juntamente com 10mL de ácido sulfúrico a 72% (m/v). A mistura foi agitada com um bastão de vidro por 7 minutos, e posteriormente foram adicionados à mistura, 25 mL de água destilada para a reação. A mistura então foi transferida quantitativamente para um Erlenmeyer de 250 mL com mais 100 mL de água destilada. O Erlenmeyer teve sua boca coberta com papel alumínio e foi levado ao autoclave a 1,05 atm por 30 minutos. O hidrolisado foi filtrado utilizando um funil e o papel de filtro (previamente pesado), e o material filtrado foi coletado diretamente em um balão volumétrico de 250 mL, com seu volume completado até o minisco com água destilada. O material retido no papel de filtro foi lavado com cerca de 500 mL de água destilada para remover o ácido sulfúrico aderido ao papel. O material foi levado à estufa a 105°C até peso constante. O processo foi repetido para as três amostras, e a massa final do cadinho será anotada e o teor de lignina insolúvel do bagaço será calculado por meio da equação abaixo (VIANA, 2017):

$$Li_{ins} = \frac{m_2 - m_1}{m} \quad (5)$$

Onde:

$Li_{ins}$  = Teor de lignina insolúvel em %;

m = Massa da amostra a base seca;

m1 = Massa do cadinho filtrante;

m2 = Massa do cadinho filtrante + lignina insolúvel fixada no cadinho.

##### Teor de Lignina Solúvel

Para o teor de lignina solúvel, foi utilizado o espectrofotômetro UV para análise da lignina solúvel no líquido remanescente de filtração, com absorbância da análise de 205nm e 250nm. Antes de ir ao equipamento, foi preparada uma solução de ácido sulfúrico a 4% para constituição de um branco que será utilizada como referência no equipamento. Foi diluído 1mL de ácido sulfúrico a 4% em água deionizada até completar 10mL em um balão volumétrico. Posteriormente, foi preparado 1mL do líquido remanescente da filtração, diluído em 10 mL de água deionizada. Após o preparo da amostra e solução de referência, o espectrofotômetro foi



ligado e calibrado para realização da leitura das absorvâncias das amostras. O teor de lignina foi calculado através da equação abaixo (VIANA, 2017):

$$Li_{sol} = \frac{\frac{A}{110} \times F \times \frac{87}{1000}}{m} \times 100\% \quad (6)$$

Onde:

$Li_{sol}$  = Teor de lignina insolúvel em percentual (%);

m = Massa da amostra descontada a umidade;

A = Absorvância lida no espectrofotômetro;

F = Fator de diluição.

### Teor de Lignina Total

O teor de lignina total consiste na soma do teor de lignina solúvel e insolúvel como mostra a equação abaixo (VIANA, 2017):

$$Li_{total} = Li_{sol} + Li_{ins} \quad (7)$$

#### 3.2.4.2 Holocelulose

Em um Erlenmeyer de 500 mL foi colocado 3g de bagaço do cajuzinho, 120 mL de água destilada e uma barra magnética para a agitação. Acrescentou-se no Erlenmeyer 2,5 g de clorito de sódio com pureza de 80% e 1 mL de ácido acético glacial com pureza 99,85%. O conjunto foi tampado e colocado em banho de glicerina a temperatura constante de  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  por uma hora. Após este tempo foi adicionado 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético glacial. Aguardou-se por mais uma hora e adicionou-se uma nova etapa de 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético glacial, prosseguindo com o aquecimento em banho de glicerina por mais 3 horas, totalizando no final 5 horas de aquecimento. Após este tempo, colocou-se este conjunto em banho de gelo por 30 minutos. Logo depois, filtrou-se utilizando funil de vidro com placa porosa e lavou-se (até pH neutro). O conjunto foi levado à estufa a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  por 18 horas. O teor de holocelulose foi calculado seguindo a equação abaixo (LEÃO, 2017):

$$\text{Holocelulose (TH\%)} = \frac{MFC - MF}{MA} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

MFC = massa do funil seco + holocelulose

MF = massa do funil

MA = massa da amostra

### 3.2.5 Reações de hidrólise

Os testes reacionais de hidrólise foram conduzidos em sistema fechado. Foram utilizados frascos de vidro de 50 mL com tampa, devidamente lacrados e colocados em uma panela de pressão elétrica. As reações foram conduzidas variando-se a concentração de ácido sulfúrico e o tempo de reação. Na Tabela 6 estão presentes as condições reacionais para cada experimento. Terminada a etapa de reação, os frascos foram retirados da panela, resfriados e armazenados em frascos de vidros no refrigerador para posterior quantificação. Todas as reações foram feitas em triplicatas.

Tabela 6: Condições reacionais para a hidrólise.

Exp	Massa (g)	Volume de Solução	Concentração da Solução $H_2SO_4$ (%v/v)	Tempo (min)
1	0.5	40,0 mL	0.5	60
2	0.5	40,0 mL	0.5	60
3	0.5	40,0 mL	0.5	60
4	0.5	40,0 mL	0.5	120
5	0.5	40,0 mL	0.5	120
6	0.5	40,0 mL	0.5	120
7	0.5	40,0 mL	1	60
8	0.5	40,0 mL	1	60
9	0.5	40,0 mL	1	60
10	0.5	40,0 mL	1	120
11	0.5	40,0 mL	1	120
12	0.5	40,0 mL	1	120
13	0.5	40,0 mL	2.5	60
14	0.5	40,0 mL	2.5	60
15	0.5	40,0 mL	2.5	60
16	0.5	40,0 mL	2.5	120
17	0.5	40,0 mL	2.5	120
18	0.5	40,0 mL	2.5	120
19	0.5	40,0 mL	5	60
20	0.5	40,0 mL	5	60

Continua na próxima página.

Tabela 6 – continuação da página anterior.

Exp	Massa (g)	Volume de Solução	Concentração da Solução H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%v/v)	Tempo (min)
<b>21</b>	0.5	40,0 mL	5	60
<b>22</b>	0.5	40,0 mL	5	120
<b>23</b>	0.5	40,0 mL	5	120
<b>24</b>	0.5	40,0 mL	5	120

### 3.2.5.1 Quantificação da Glicose

O teor de glicose após a hidrólise foi determinado a partir de um teste enzimático calorimétrico utilizando reagentes da BioTécnica. Foram utilizados dois reagentes. Reagente nº1 (Glicose R1) contém: tampão fosfato 182,42 mmol/L pH 7,0; GOD- Glicose Oxidase > 15000 U/L; POD - Peroxidase > 1200 U/L; 4-aminoantipirina 0,3 mmol/L; fenol 10 mmol/L. O reagente nº2 (STD) contém: azida sódica 0,02% e solução de glicose equivalente a uma concentração de 100 mg/dL (BIOTÉCNICA, 2018).

Nesse teste, a glicose é oxidada enzimaticamente pela glicose oxidase formando ácido glucônico e peróxido de hidrogênio. Este oxida o reagente fenólico na presença da 4-aminoantipirina, sob a ação catalítica da peroxidase, produzindo um composto rosa, que apresenta um máximo de absorção em 505 nm (BIOTÉCNICA, 2018).

Em tubos de ensaios devidamente identificados com B (Branco), P(Padrão) e amostras numeradas de 1 a 24, foram inseridas as quantidades de reagentes e da amostra conforme Tabela 7:

Tabela 7: Quantidade de reagentes utilizados na quantificação da glicose

	<b>Branco</b>	<b>Padrão</b>	<b>Amostra</b>
<b>STD</b>	-	30 $\mu$ L	-
<b>Amostra</b>	-	-	30 $\mu$ L
<b>Glicose R1</b>	3,0 mL	3,0 mL	3,0 mL

Após homogeneizar e colocar em banho-maria, a 37°C, por 10 minutos, realizou-se a leitura das absorbâncias das amostras e do padrão em 505 nm.

A concentração foi determinada a partir da equação abaixo:

$$\text{Glicose (mg/dL)} = \frac{\text{Absorbância da amostra} \times 100}{\text{Absorbância do Padrão}} \quad (9)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE IMEDIATA

e em trabalhos com o Bagaço do Caju (BC) e o Bagaço da Cana (BCA), pois o BC é o material mais próximo para fim de comparação e o BCA é um dos mais utilizados para fins energéticos.

#### 4.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade, que significa a quantidade de água existente na amostra, foi de 13,3%. A Tabela 8 mostra o valor obtido para a umidade do BCC neste trabalho e em trabalhos com o Bagaço do Caju (BC) e o Bagaço da Cana (BCA), pois o BC é o material mais próximo do BCC e o BCA é um dos mais utilizados para fins energéticos.

Tabela 8: Teor de umidade do BCC, BC e BCA

Matéria Prima	Teor de Umidade (%)	Referências
BCC	13,3	Neste Trabalho
BC	12,2	(CORREIA, 2013)
BC	8,87	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
BCA	9,96	(SILVA, 2014)
BCA	5,58	(GARCIA <i>et al.</i> , 2009)
BCA	7,87	(AYALA <i>et al.</i> , 2012)

A umidade da amostra pesquisada se mostra um pouco superior à do BCA, e próxima do BC. Segundo a literatura, o teor de umidade obtido para o BCC se encontra maior que os de BCA, porém está próximo dos valores obtidos para BC. O BCC apresentou uma resultado favorável pois é relativamente baixo se comparado com a literatura, e teores altos de umidade (acima de 30%), podem causar problemas de ignição e de combustão, influenciar comportamento da pirólise e afetar as propriedades físicas e qualidade dos produtos (DEMIRBAS, 2004b).

#### 4.1.2 Teor de Cinzas

O valor obtido para o Teor de Cinzas do BCC foi de 0,75%. A Tabela 9 compara o valor encontrado com os da literatura para o BC e BCA.

O valor obtido neste trabalho para o teor de cinzas foi inferior aos da literatura. Essa baixa concentração torna o BCC favorável para um bom desempenho em processos de queima,

Tabela 9: Teor de cinzas do BCC, BC e BCA

<b>Matéria Prima</b>	<b>Teor de Cinzas (%)</b>	<b>Referências</b>
BCC	0,75	Neste Trabalho
BC	1,6	(CORREIA, 2013)
BC	2,86	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
BCA	0,9	(SILVA, 2014)
BCA	2,9	(ARRUDA, 2011)
BCA	4,9	(ESTEVEES, 2011)
BCA	5,10	(CARVALHO <i>et al.</i> , 2011)

pois quanto menor o teor, melhor seu aproveitamento nos processos de produção energética (VIANA, 2017).

#### 4.1.3 Teor de Voláteis

O teor de voláteis obtido neste trabalho foi de 78,3%. A Tabela 10 compara o valor encontrado com os da literatura para o BC e BCA.

Tabela 10: Teor de voláteis do BCC, BC e BCA

<b>Biomassa</b>	<b>Teor de Voláteis (%)</b>	<b>Referências</b>
BCC	78,3	Neste Trabalho
BC	74,88	(TAVARES, 2016)
BCA	83,10	(KATYAL; THAMBIMUTHU; VALIX, 2003)
BCA	79,70	(ROCHA; CORTEZ, 2004)

Foi encontrado um alto teor de voláteis para o BCC, e verifica-se que é compatível com os encontrados na literatura. Esse valor alto demonstra que uma grande quantidade de gases combustíveis podem ser liberados a partir do aquecimento das biomassas quando devidamente secas (FLORIANI *et al.*, 2007). Quanto maior o percentual de material volátil, maior a velocidade de queima (GARCÍA *et al.*, 2012).

#### 4.1.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo obtido neste trabalho foi de 20,95%, valor parecido com o encontrado na literatura para o BC. A Tabela 11 mostra os teores para o BCC, e para o BC e BCA encontrados na literatura.

O percentual de carbono fixo estabelece a quantidade de calor gerado, e quanto maior for este percentual, mais lenta será a queima do combustível (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988), portanto pela Tabela 11, o BC e o BCC queimam mais lentamente que o BCA.

Tabela 11: Teor de carbono fixo do BCC, BC e BCA

Biomassa	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
BCC	20,95	Neste Trabalho
BC	21,57	(TAVARES, 2016)
BCA	12,70	(KATYAL; THAMBIMUTHU; VALIX, 2003)
BCA	15,0	(DEMIRBAS, 2004a)

## 4.2 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR)

A análise FTIR permite a observação de bandas específicas no espectro correspondente à presença de grupos funcionais de, estiramentos e distorções de ligações C-H, C=O, C-C e O-H (BORGES, 2015). Na Figura 12 é mostrado o espectro de FTIR do BCC *in natura*.

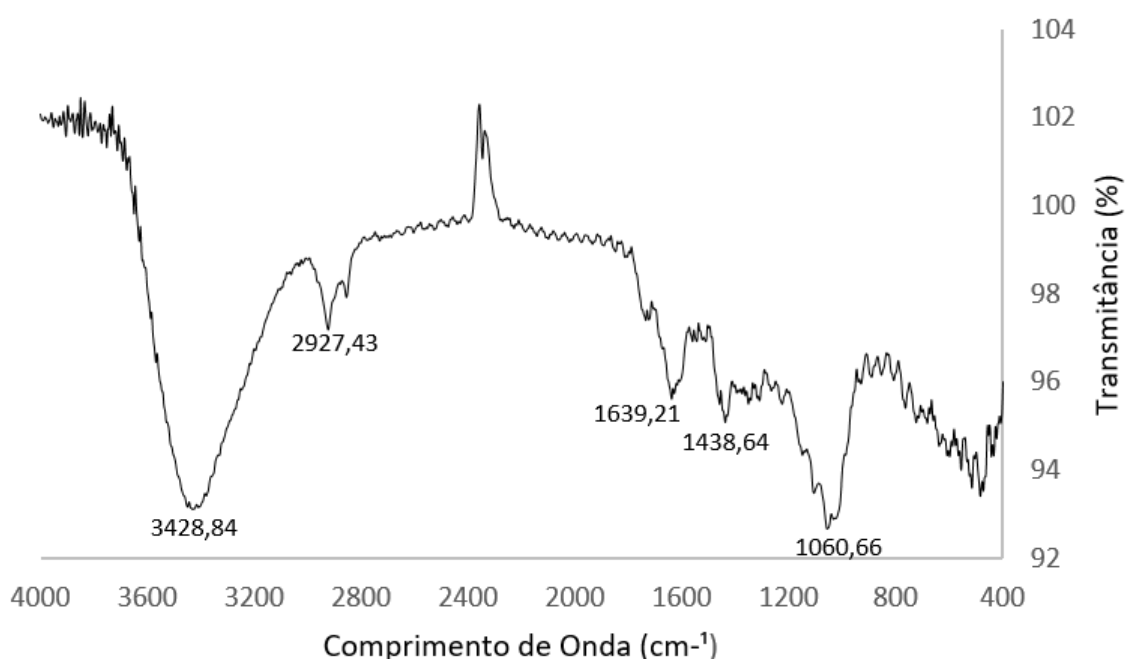


Figura 12: Espectro de Infravermelho da amostra de BCC

Pelo espectro é possível visualizar cinco principais bandas: uma  $3428,84\text{ cm}^{-1}$  correspondente ao estiramento O-H; uma em  $2927,43\text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento C-H; outra em  $1639,21\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento de grupos carbonil C=O; uma em  $1438,64\text{ cm}^{-1}$  referente às ligações C-H do grupo  $\text{CH}_3$  do acetil e uma em  $1060,66\text{ cm}^{-1}$  pelo estiramento assimétrico C-O-C de grupos éteres (BRUM, 2007) (BORGES, 2015) (YANG *et al.*, 2007).

### 4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG)

A termogravimetria ou análise termogravimétrica é responsável pelo estudo da variação de massa (perda ou ganho) de uma amostra, resultante de uma transformação física ou química em função do tempo ou da temperatura (MOTHÉ; AZEVEDO, 2009).

A curvas termogravimétricas (TG) e a derivadas da curvas termogravimétrica (DTG) da amostra de BCC pode ser vista na Figura 13. O primeiro evento se inicia em temperatura ambiente até 127°C, com uma queda de 7% de massa, relativo à perda de umidade. Outro evento entre 127-200°C, onde ocorre uma perda de massa de 13% total, refere-se à perda de voláteis. Outro evento entre 200-260°C corresponde à degradação da hemicelulose, com perda de 23% total da amostra. O último evento entre 260-360°C possui dois picos próximos e correspondem à degradação da celulose amorfa e cristalina está presente na faixa de 260-360°C. Não foi possível visualizar etapa de degradação da lignina, porém observa-se uma queda constante da massa até ~500°C, temperatura na qual a lignina se degrada (OLIVEIRA *et al.*, 2014) (PENEDO-MEDINA *et al.*, 2016). Ao final da curva, tem-se 27,2% de resíduos sólidos restantes, e essa quantia alta está associada principalmente aos produtos finais de decomposição da lignina, que são resíduos carbonáceos formados em atmosfera inerte (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

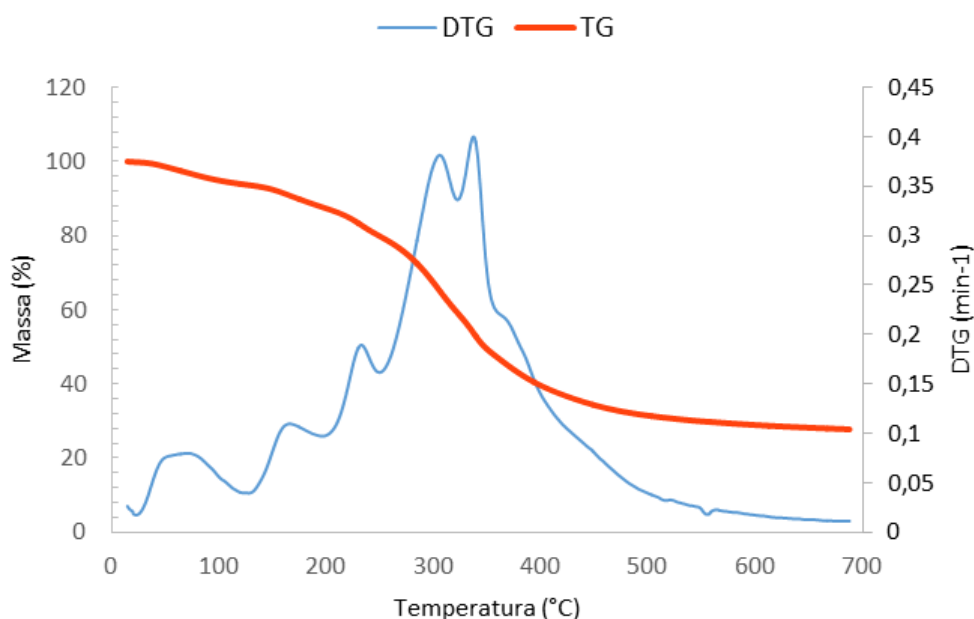


Figura 13: Curva Termogravimétrica do BCC

## 4.4 ANÁLISE QUÍMICA

Para se obter a holocelulose, o experimento foi realizado em duplicata, porém não foi possível realizar a etapa da filtração, pois com a utilização da bomba a vácuo, o líquido não passou pelo fundo poroso do funil. Foram testados 3 tipos de funil com diferentes porosidades e nenhuma filtração obteve sucesso.

Durante a tentativa de filtração, notou-se que a solução formava uma espécie de gel, que impedia o líquido de passar pelo fundo poroso. Esse problema na filtração pode ser causado pela presença da pectina na biomassa. A pectina é um heteropolissacarídeo que contém resíduos de ácido galacturônico. Este polímero é muito utilizado com geleificante e estabilizante na indústria de alimentos (CANTERI *et al.*, 2012). A presença da pectina pode causar uma diminuição do fluxo na filtração, por isso propõe-se a redução da sua concentração, seja por meio de tratamento enzimático, centrifugação ou outros meios de pré-filtração para a melhora desse fluxo (DOMINGUES *et al.*, 2014).

O teor de holocelulose foi estimado então pela seguinte equação:

$$\text{Holocelulose} = 100\% - CZ - Li_{total} - TU \quad (10)$$

Onde:

CZ = Teor de Cinzas

$Li_{total}$  = Lignina total

TU = Teor de Umidade

O teor de lignina e holocelulose encontrados neste trabalho se encontram na Tabela 12, sendo 40,2 % de lignina e 45,75% de holocelulose:

Tabela 12: Lignina e Holocelulose obtidas neste trabalho.

	<b>Lignina (%)</b>	<b>Holocelulose (%)</b>
BCC	40,2	45,75

Para melhor análise e comparação, os teores de lignina e holocelulose do BCC foram comparados em forma de gráfico de barras com o do BC e BCA obtidos por Silva (2014) e Rocha (2010) respectivamente.

O teor de lignina obtido para o BCC foi elevado em relação aos da literatura, que foram respectivamente 36,88% e 27,92% para o BC e o BCA. O teor de holocelulose é dominado pelo BC, e percebe-se que o BC e BCC estão relativamente próximos.

A tabela 13 apresenta os resultados da composição lignocelulósica do BC *in natura* e



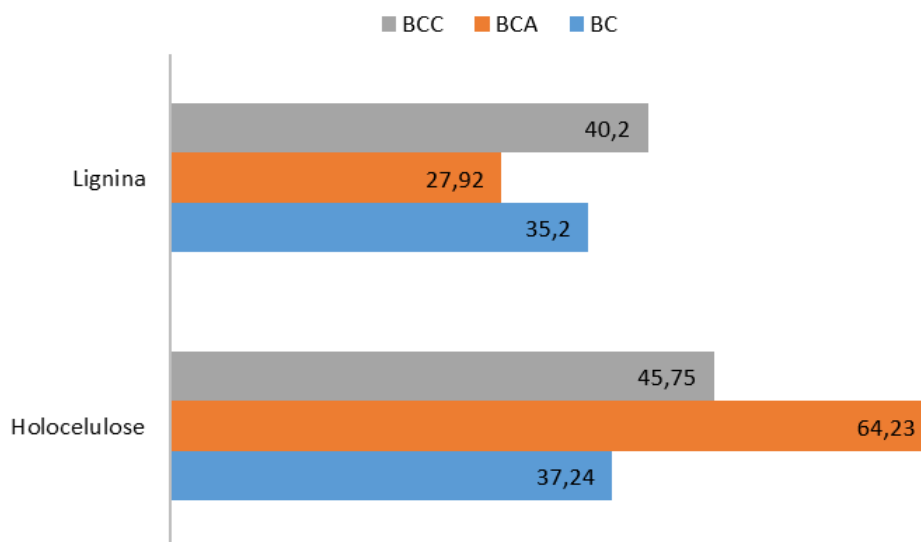


Figura 14: Lignina e Hemicelulose obtidos neste trabalho e na literatura. Fonte: Rocha (2010) e Silva (2014)

após dois pré-tratamentos distintos, um realizado com NaOH realizado por Rocha (2010) e outro com peróxido de hidrogênio alcalino realizado por Correia (2013).

Tabela 13: Resultados dos pré-tratamentos para o BC. Fonte: Correia (2013) e Rocha (2010)

	BC <i>in natura</i>	Pré-tratamento 4.3% PHA (v/v)	BC <i>in natura</i>	Pré-tratamento NaOH
<b>Celulose</b>	20,5	32,9	20,91	71,93
<b>Hemicelulose</b>	10,1	11,9	16,33	8,51
<b>Lignina</b>	35,2	19,8	36,88	17,27

Observa-se que o pré-tratamento realizado com NaOH proporcionou um aumento da porcentagem de celulose do BC pré-tratado em relação ao BC *in natura* de 244%, que inicialmente era de 20,91% e foi para 71,93%. Esse aumento da celulose pode ser atribuído a redução de 53% na porcentagem de lignina em relação ao seu teor inicial. Além disso, houve também uma redução na hemicelulose de 68% em relação ao BC *in natura*. Já o pré-tratamento realizado com PHA obteve um aumento de 60,5% no teor de celulose, 17% no teor de hemicelulose, e uma redução significativa no teor de lignina de 43,75%.

## 4.5 REAÇÕES DE HIDRÓLISE

A partir de uma observação visual dos frascos com o material hidrolisado do BCC, foi possível notar que houve uma quantidade considerável de resíduos sólidos em todas as concentrações e tempos de reação. A Figura 15 mostra as cores obtidas para as concentrações de

1%, 2,5% e 5%. Não foi possível registrar as cores referentes à concentração de 0,5%, pois as amostras já haviam sido descartadas no momento da fotografia. A partir da imagem, percebe-se que após a hidrólise, os materiais apresentaram uma tom de cor escuro, oscilando pouco entre o marrom e o vinho.

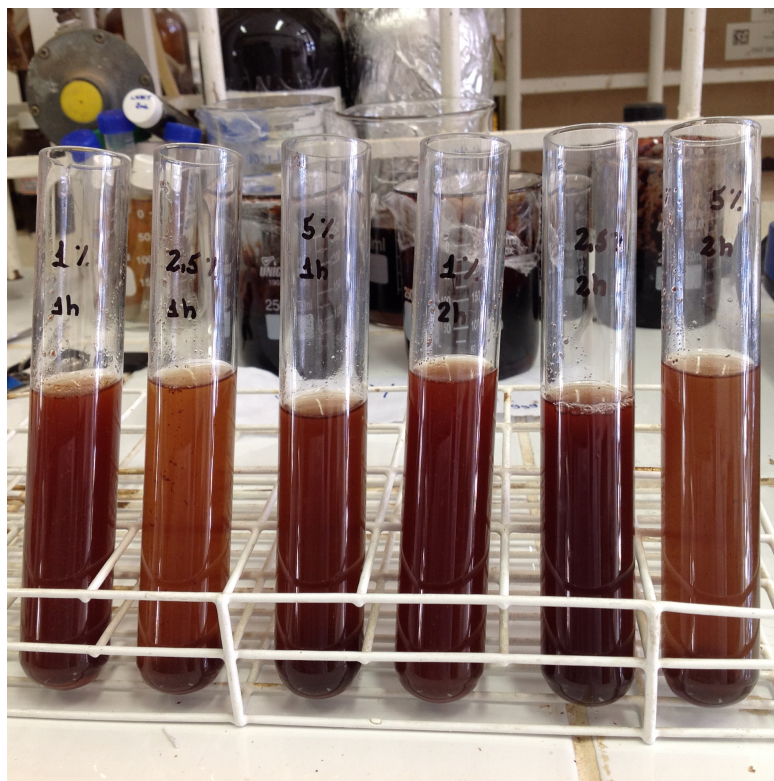


Figura 15: Cores das hidrólises. Fonte: Autoral

#### 4.5.1 Quantificação da Glicose

Os teores de glicose foram determinados de acordo com as o tópico 3.2.5.1. Por se tratar de uma técnica rápida e simples, esse teste utilizado para verificar teoricamente a quantidade de açúcar produzido nas reações de hidrólise. A tabela 14 apresenta as concentrações de glicose e o rendimento obtido em cada reação. Os experimentos foram realizados em triplicata e para o cálculo do rendimento da glicose foi considerado a média de glicose.

Não foi possível obter o teor de celulose a partir do experimento do teor de holocelulose, portanto para um cálculo teórico do rendimento da hidrólise, foi utilizado o valor do teor de celulose do BC obtido por (ROCHA, 2010), que é a biomassa com características mais próximas do BCC.

Considerando que 324g de celulose produzem 360g de glicose (GROSSI, 2015) e também que, 1250mg de BC gera 140mg de glicose, com um teor de 20,91% de celulose, a concentração máxima de glicose produzida seria de 280mg. Com esses dados foi possível realizar

os cálculos teóricos para o rendimento.

Tabela 14: Concentração de Glicose e Rendimento. Fonte: Autoral

Concentração (%)	Tempo (min)	Glicose Média (mg.dL)	Rendimento (%)
0,5	60	140,29	50,1
0,5	120	142,84	51,0
1	60	144,04	51,4
1	120	157,55	56,3
2,5	60	162,97	58,2
2,5	120	158,58	56,6
5	60	159,36	56,9
5	120	156,97	56,1

A fim de facilitar a análise comparativa entre os rendimentos obtidos, foi plotado um gráfico de rendimento em glicose x tempo de reação.

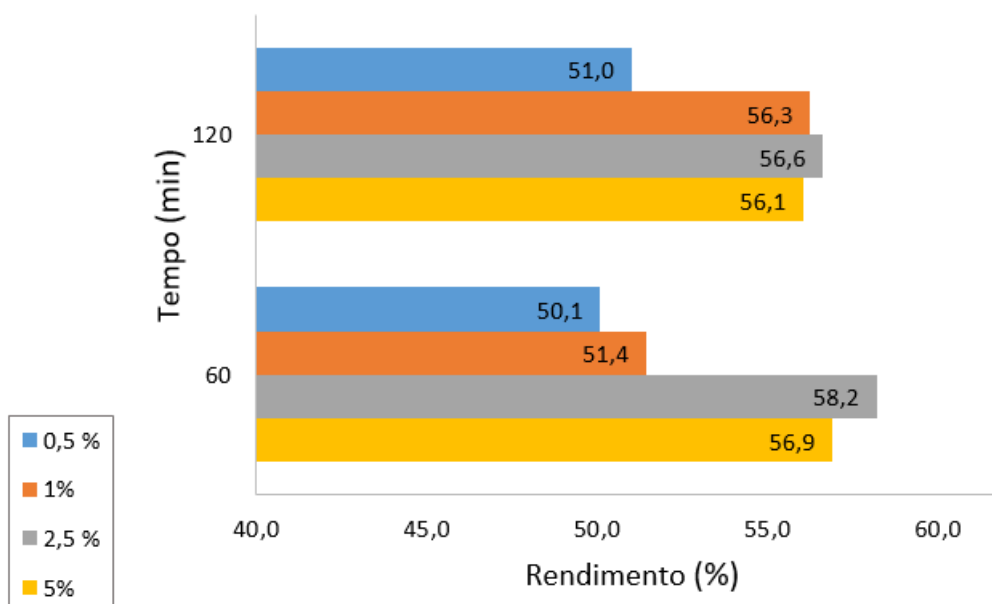


Figura 16: Rendimento em glicose x tempo de reação

Verifica-se pela Figura 16 que o maior rendimento encontrado, 58,2%, foi para a hidrólise em solução ácida, a 2,5% por 60 minutos, enquanto o menor rendimento foi a 1% de concentração por 60 minutos.

Para a hidrólise com um tempo de reação de 60 minutos, o aumento do rendimento foi proporcional ao tempo de reação até 2,5% de concentração, pois em 5% ocorreu a diminuição da concentração da glicose devido a degradação do açúcar. O mesmo ocorreu com as reações a 120 minutos.

Observa-se ainda que não há muita oscilação nos rendimentos obtidos, e que no geral

foram valores satisfatórios para uma hidrólise, considerando que em termos de insumos e rendimento o máximo de conversão de celulose para glicose é 90%, porém não excede 50-60% quando a reação é realizada em batelada (ROSSELL, 2006) (CORTEZ, 2010).

Os valores foram obtidos nesta apenas por aproximação, por não ter o teor de celulose do BCC, no entanto pode-se concluir que a melhor condição encontrada foi a 120°C, 2,5% de  $H_2SO_4$  em 60 minutos de reação. Esse resultado pode aumentar, com alteração da temperatura, e realização do pré-tratamento da biomassa.

## 5 CONCLUSÕES

A análise imediata permitiu a visualização do potencial energético do BCC. O valor encontrado para o teor de umidade viabiliza sua utilização em processos termoquímicos de conversão de energia como pirólise, combustão e gaseificação. Já o teor de cinzas se demonstrou favorável para processos de queima, que exige baixos teores. O BCC apresentou uma alta velocidade de queima com o resultado relacionados com o carbono fixo, uma vez que quanto maior o teor de voláteis, maior a velocidade da queima e quanto menor o teor de carbono fixo, menor a velocidade.

A análise química do BCC *in natura* resultou em um teor de lignina (40,2%) relativamente que os da literatura, porém é um valor aceitável quando se trata de bagaço. O teor de holocelulose (45,75%) foi obtido teoricamente devido aos problemas na execução dos experimentos, próximo do BC, porém apresentou um valor próximo da literatura. Para obter o teor experimental da holocelulose e posteriormente o teor de celulose e hemicelulose, é necessário realizar a retirada da pectina.

As análises termogravimétricas mostraram que a perda de umidade e início da degradação e oxidação do BCC ocorreu aproximadamente aos 200°C, apresentando estágios de degradação térmica da hemicelulose e celulose, porém sem apresentar o estágio de degradação visível para a lignina, e resultando em 27,2% de resíduos sólidos em 700°C.

As reações de hidrólise ácida do BCC apresentaram resultados significativos, em termos de quantidade de glicose. Apesar do rendimento ter sido calculado considerando um teor teórico e simbólico para a celulose, entende-se que a melhor condição de hidrólise ocorreu em solução com 2,5% de  $H_2SO_4$ , 60 minutos e 120°C, resultando em um rendimento de tantos 58,2%. Para comprovação de tal resultado, é necessário obter o teor real de celulose do BCC.

Diante o exposto, torna-se válida a utilização do Bagaço do Cajuzinho-do-Cerrado como matéria prima para fins energéticos.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. M. d. U. I.; PASSOS, P. R. d. A.; MARQUES, L. G. d. C. U. C. I.; OLIVEIRA, L. B. U. C. I.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. d. D. d. S. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (cocos nucifera linn) e análise do carvão vegetal. *Revista árvore*, Sociedade de Investigações Florestais, 2004.
- ANDRADE, R. V. *Gaseificação de biomassa: Uma análise teórica e experimental*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
- ARRUDA, P. *Av aliação do processo biotecnológico de obtenção de xilitol em diferentes escalas a partir do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia,, São Paulo, Brasil, 2011.
- AYALA, O. L. B. *et al. Avaliação de pré-tratamentos para a hidrólise enzimática de palha de cana-de-açúcar considerando a produção de etanol*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Campinas, Campinas, SP, 2012.
- BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*, v. 52, p. 858–875, 2011.
- BIOTÉCNICA. *Glicose*. 2018. Disponível em: <[http://www.biotecnica.ind.br/downloads/BIOQUIMICA/Glicose\\_10.008.00/IU/Glicose.pdf](http://www.biotecnica.ind.br/downloads/BIOQUIMICA/Glicose_10.008.00/IU/Glicose.pdf)>.
- BORGES, Y. A. *Aplicação de técnicas multivariadas em espectros de infravermelho para a determinação de teores totais de carbono, oxigênio e hidrogênio em amostras de biomassas e biocarvões*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Goiás,, Goiânia, GO, 2015.
- BORK, J. A. *et al. Caracterização e avaliação das emissões do uso de lodo sanitário seco como combustível em combustor ciclônico*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina,, Porto Alegre, SC, 2011.
- BOUBEL, R. W.; VALLERO, D.; FOX, D. L.; TURNER, B.; STERN, A. C. *Fundamentals of air pollution*. [S.l.]: Elsevier, 2013.
- BRAND, M. A. *Energia de biomassa florestal*. [S.l.]: Editora Interciência, 2010.
- BRIDGWATER, A.; BRIDGE, S. A review of biomass pyrolysis and pyrolysis technologies. In: *Biomass pyrolysis liquids upgrading and utilization*. [S.l.]: Springer, 1991. p. 11–92.
- BRUM, S. S. *Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Lavras,, Lavras, MG, 2007.
- CANTERI, M. H.; MORENO, L.; WOSIACKI, G.; SCHEER, A. d. P. Pectin: from raw material to the final product. *Polímeros*, SciELO Brasil, v. 22, n. 2, p. 149–157, 2012.
- CARVALHO, M. L. d. *et al. Estudo cinético da hidrólise enzimática de celulose de bagaço de cana-de-açúcar*. Universidade Federal de São Carlos, 2011.

- CHAN, E.; RUDRAVARAM, R.; NARASU, M. L.; RAO, L. V.; RAVINDRA, P. *et al.* Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, Academic Journals, v. 2, n. 1, p. 14–32, 2007.
- CORREIA, J. A. da C. *Estudo do pré-tratamento do bagaço de caju com peróxido de hidrogênio alcalino para a produção de etanol*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Ceará, 2013.
- CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&d para produtividade e sustentabilidade. In: *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. [S.l.: s.n.], 2010.
- DAVISON, B. H. Ib in depth—special section on advances in biomass characterization technology. *Industrial Biotechnology*, v. 8, n. 4, p. 189–190, 2012.
- DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in energy and combustion science*, Elsevier, v. 30, n. 2, p. 219–230, 2004.
- DEMIRBAS, A. Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, Elsevier, v. 71, n. 2, p. 803–815, 2004.
- DOMINGUES, R. C. C.; RAMOS, A. A.; CARDOSO, V. L.; REIS, M. H. M. Microfiltration of passion fruit juice using hollow fibre membranes and evaluation of fouling mechanisms. *Journal of food engineering*, Elsevier, v. 121, p. 73–79, 2014.
- EMBRAPA. *Frutas Nativas da Região Centro-Oeste do Brasil*. Brasília: [s.n.], 2006.
- EPE; MME. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasil: [s.n.], 2008.
- ESTEVES, P. J. *Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluído em reator piloto aquecido por vapor direto*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2011.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin: Walter de Gruyter, 1983.
- FERREIRA, M. Frutos comestíveis nativos do df (ii): gabioba, araçás, amoreira e cajus. *Cerrado*, v. 5, p. 25–29, 1973.
- FLORIANI, S. L. *et al.* *Potencial de resíduos sólidos industriais como fonte de energia e avaliação das emissões gasosas em combustor em escala piloto*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina,, Florianópolis, SC, 2007.
- GARCIA, D. d. R. *et al.* Determinação dos dados cinéticos do pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar com peróxido de hidrogênio alcalino e da hidrólise enzimática posterior. [sn], 2009.
- GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 103, n. 1, p. 249–258, 2012.

- GONÇALVES, M. A.; CARVALHO, W. R.; DAMIANI, C.; SILVA, A.; CALIARI, M.; SILVA, Y. P.; KR, L.; ESTEVAM, J. F. M.; MENDES, N. S. Aguardente de cajuzinho do cerrado: Produção e análises físicas e químicas. *Revista Processos Químicos*, p. 31–35, 2009.
- GROSSI, E. C. *Produção de etanol de segunda geração a partir de um derivado de celulose*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília,, Brasília, DF, 2015.
- GURGEL, L. V. A. *Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar: Estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol*. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade de São Paulo, Instituto de Química,, São Carlos, 2010.
- HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. V.; FAAIJ, A. P. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-and long-term. *Biomass and bioenergy*, v. 28, n. 4, p. 384–410, 2005.
- JIMÉNEZ, L.; GONZÁLEZ, F. Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, Elsevier, v. 70, n. 8, p. 947–950, 1991.
- JÚNIOR, S. V. *Biomassa para química verde*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2013.
- KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 28, n. 5, p. 713–725, 2003.
- KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at louisiana sugar mills. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, Springer, v. 38, n. 7, p. 803–807, 2011.
- KUHAD, R. C.; SINGH, A. Lignocellulose biotechnology: current and future prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 13, n. 2, p. 151–172, 1993.
- LEÃO, R. M. *Análise ambiental e técnica para a obtenção de nanocristais de celulose de bagaço da cana-de-açúcar aplicados em nanocompósitos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília,, Florianópolis, SC, 2017.
- LEE, D.; OWENS, V.; BOE, A.; JERANYAMA, P. Composition of herbaceous biomass feedstocks. *South Dakota State University Publication*, Brookings, USA, jun 2007.
- LEE, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of Biotechnology*, v. 56, p. 1–24, 1997.
- LIMA, E. E. de; SILVA, F. L. H. D.; OLIVEIRA, L. D. S. C.; SILVA, A. S.; NETO, J. D. S. Produção de etanol de segunda geração proveniente do bagaço de pendúculos do caju. *Revista Caatinga*, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, v. 28, n. 2, 2015.
- LIMAYEM, A.; RICKE, S. C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 38, n. 4, p. 449–467, 2012.
- LORA, E.; NOGUEIRA, L. *Dendroenergia. Fundamentos e Aplicações*. 2nd ed. Rio de Janeiro, 2003.



- LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ÁNGEL, J. D. M.; LEITE, M. A. H.; ROCHA, M. H.; SALES, C.; MENDOZA, M. A. G.; CORAL, D. d. S. O. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. *Biocombustíveis. Interciência*, p. 411–498, 2012.
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 83, n. 1, p. 37–46, 2002.
- MENDONÇA, R. d.; FELFILI, J.; WALTER, B.; JÚNIOR, M. d. S.; REZENDE, A.; FILGUEIRAS, T.; NOGUEIRA, P.; SANO, S.; ALMEIDA, S. d. Flora vascular do cerrado. In: *Cerrado: ambiente e flora*. [S.l.]: Embrapa-Cpac Planaltina, 1998.
- MME. *Boletim Mensal de Energia*. 2018. Acessado em 08 de Agosto de 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/72198330/01+-+Boletim+Mensal+de+Energia+-+Janeiro+2018+%28PDF%29.pdf/db2aa78a-e38b-461e-9128-f6a87ce0dc0d>>.
- MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T. d. *et al.* Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural*, SciELO Brasil, 2006.
- MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. Features of microbial lipid and bio-ethanol production: an environmental friendly process. *Bioresour Technol*, v. 211, p. 677–84, 2016.
- MOTHÉ, C.; AZEVEDO, A. Análise térmica de materiais artliber editora. *São Paulo, Brazil*, 2009.
- NOGUEIRA, M. F.; RENDEIRO, G. Caracterização energética da biomassa vegetal. *Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia*, p. 52–63, 2008.
- OLIVEIRA, J.; CASTRO, E.; MIRANDA, C.; GONÇALVES, A.; JOSÉ, N. Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de licuri (*syagrus coronata*). *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Cuiabá, MT, nov. 2014.
- PAULA, L. E. d. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, SciELO Brasil, v. 17, n. 2, p. 237–246, 2011.
- PENEDO-MEDINA, M. *et al.* Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, v. 31, n. 2, p. 36–43, 2016.
- PEREIRA, G.; AGUIAR, J. L. P. de; MOREIRA, L.; BEZERRA, H. d. S. Área e população do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 7, p. 759–763, 1997.
- QUAAK, P.; KNOEF, H.; STASSEN, H. *Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies*. [S.l.]: The World Bank, 1999.
- RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Química Nova*, v. 26, n. 6, p. 863–871, 2003.

- RATH, A. A biomassa e a indústria açucareira na matriz energética. *Revista da Madeira*, n. 140, 2014.
- RIZZINI, C. Espécies novas de árvores do planalto central brasileiro. *Acad Brasil Cienc An*, v. 41, p. 239–244, 1969.
- ROCHA, J.; CORTEZ, L. Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. *Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Bioware Tecnologia, SP*, 2004.
- ROCHA, M. V. P. *Produção de bioetanol a partir de pedúnculo de caju (Anacardium occidentale L.) por fermentação submersa*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte,, Porto Alegre, 2010.
- RODRIGUES, R. A. Biodiesel no brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade. *O futuro da indústria: biodiesel*, p. 15–26, 2006.
- ROSSELL, C. Conversion of lignocellulose biomass (bagasse and straw) from the sugar-alcohol industry into bioethanol. *CARVALHO, EP et al. Industrial Perspectives for Bioethanol. São Paulo, UNIEMP*, p. 123–142, 2006.
- S SINGH A, J. H. P. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. *Resour Conserv Recycl*, v. 50, p. 1–39, 2007.
- SAINI, J. K.; SAINI, R.; TEWARI, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. *3 Biotech*, Springer, v. 5, n. 4, p. 337–353, 2015.
- SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology advances*, v. 27, n. 2, p. 185–194, 2009.
- SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. D.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.
- SCHUTZ, F. C. de A.; ANAMI, M. H.; TRAVESSINI, R. Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos ligno-celulóticos da agroindústria. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 03–08, 2010.
- SILVA, J. N.; SOBRINHO, J. C.; SAIKI, E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. *Engenharia Agrícola, SciELO Brasil*, v. 24, n. 2, p. 405–411, 2004.
- SILVA, V. L. d. *Aproveitamento sustentável do bagaço de cana de açúcar para obtenção do acetato de celulose*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.
- SOUZA, E. R. B. D.; NAVES, R. V.; CARNEIRO, I. F.; LEANDRO, W. M.; BORGES, J. D. Crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*eugenia dysenterica* dc) nas condições do cerrado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Sociedade Brasileira de Fruticultura, v. 24, n. 2, p. 491–495, 2002.

- STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIN, M. Qualidade da madeira de eucalyptus viminalis para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. *Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, n. 16, p. 55-59, jun. 1988., 1988.
- TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, Molecular Diversity Preservation International, v. 9, n. 9, p. 1621–1651, 2008.
- TAVARES, P. T. *Caracterizações física e química de resíduos sólidos da cajucultura e avaliação do potencial energético em processos de conversão térmica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, João Pessoa, 2016.
- VÁSQUEZ, M. P.; SILVA, J. N. C. da; SOUZA, M. B. de; PEREIRA, N. Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Springer, v. 137, n. 12, p. 141–153, 2007.
- VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, Elsevier, v. 89, n. 5, p. 913–933, 2010.
- VIANA, N. A. Viana, Nádia Alves. *"Aproveitamento energético de biomassas residuais florestais do cerrado para produção de gás de síntese por meio do processo de gaseificação"*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica, Brasília, 2017.
- VIEIRA, R.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste*. Brasília: MMA, 2016. 138–149 p.
- VIRMOND, E.; SENA, R. F. D.; ALBRECHT, W.; ALTHOFF, C. A.; MOREIRA, R. F.; JOSÉ, H. J. Characterisation of agroindustrial solid residues as biofuels and potential application in thermochemical processes. *Waste Management*, Elsevier, v. 32, n. 10, p. 1952–1961, 2012.
- VOHRA, M.; MANWAR, J.; MANMODE, R.; PADGILWAR, S.; PATIL, S. Bioethanol production: feedstock and current technologies. *Journal of environmental chemical engineering*, Elsevier, v. 2, n. 1, p. 573–584, 2014.
- WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.-U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. *Progress in energy and combustion science*, Elsevier, v. 26, n. 1, p. 1–27, 2000.
- YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, Elsevier, v. 86, n. 12-13, p. 1781–1788, 2007.
- ZHANG, X.; YANG, W.; BLASIAK, W. Modeling study of woody biomass: interactions of cellulose, hemicellulose, and lignin. *Energy & Fuels*, ACS Publications, v. 25, n. 10, p. 4786–4795, 2011.
- ZHU, Y.; LEE, Y.; ELANDER, R. T. Optimization of dilute-acid pretreatment of corn stover using a high-solids percolation reactor. *Applied biochemistry and biotechnology*, Springer, v. 124, n. 1, p. 1045–1054, 2005.