



**Universidade de Ribeirão Preto
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental**

MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS

PROCESSO PIROLÍTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO ABACAXI

RIBEIRÃO PRETO- SP

2018

Michelle Ludmila Guedes dos Santos

PROCESSO PIROLÍTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO ABACAXI

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP.

Orientadora: Prof^a. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Coorientador: Prof^o. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

RIBEIRÃO PRETO

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto –

S237p Santos, Michelle Ludmila Guedes dos, 1990-
Processo pirolítico da biomassa residual do abacaxi / Michelle
Ludmila Guedes dos Santos. – Ribeirão Preto, 2018.
85 f.: il. [color](#).

Orientadora: Prof^a. Me. Luciana Rezende Alves de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Biomassa. 2. Casca do abacaxi. 3. Coroa do abacaxi.
4. Pirólise I. Título.

CDD 628

MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS
" PROCESSO PIROLÍTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO ABACAXI".

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

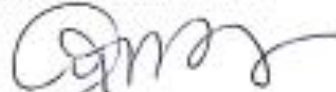
Orientadora: Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 17 de Setembro de 2018

Resultado: aprovada

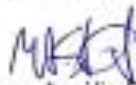
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente



Prof. Dr. Valdir Schalch
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP



Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de Castro
Universidade de Campinas - UNICAMP

Ribeirão Preto
2018

Aos meus pais, Djacy Viana e Katilce Guedes, que sempre incentivaram e deram condições para que eu pudesse me dedicar integralmente aos estudos, ao meu esposo Willian Abreu e ao meu irmão Diego Caique Guedes que estiveram ao meu lado dando o apoio necessário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter traçados meus caminhos e me protegido até aqui. Sempre sendo a luz que necessito e o sal no meu caminho é a Sua palavra, todas as palavras são poucas para expressar a tamanha gratidão que tenho por ser tão amada e protegida por Deus.

Aos meus pais Djacy Viana dos Santos e Katilce de Souza Guedes, ao meu irmão Diego Caique Guedes dos Santos, minha filha Júlia Abreu Guedes e ao meu esposo Raimundo Willian Abreu Rosa, que nos momentos difíceis me incentivou e deu o incentivo necessário para eu prosseguir mostrando a cada dia o quanto sou capaz e forte para alcançar os meus objetivos.

Em especial a Elaine da Cunha Silva Paz, que desde o início foi uma pessoa que me ajudou, incentivou, aconselhou e deu o suporte necessário nos momentos difíceis.

A minha orientadora Luciana Rezende Alves de Oliveira e meu coorientador Marcelo Mendes Pedroza por todos os momentos de dedicação e orientação.

A minha colega de trabalho Evanuzia Miranda da Silva que foi de grande ajuda nos experimentos, pelo seu imenso profissionalismo e toda sua dedicação.

Aos docentes e colaboradores da divisão de pós-graduação da UNAERP que colaboraram desde o início dando apoio necessário.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração demonstrando o centro de origem do abacaxi, assinalado com o círculo, e diferentes rotas de dispersão da fruta para as outras regiões do mundo, demonstradas por meio das setas	19
Figura 2 – Esquema com os pontos de obtenção das variáveis: diâmetro do ápice, mediano e da base	20
Figura 3 – Morfologia do abacaxi. a) Coroa; b) Folha; c) Fruto; d) Ápice; e) Casca; f) Malha; g) Frutículos; h) Base; i) Coração ou eixo central; j) Frutinho tipo baga e k) Polpa	20
Figura 4 - Componentes da biomassa lignocelulósica.....	21
Figura 5 – Produção de abacaxi nas regiões brasileiras entre os anos de 2011 a 2016	23
Figura 6 - Resíduos do abacaxi. a) Casca do abacaxi e b) Coroa do abacaxi	25
Figura 7- Participação das regiões do país no total de RSU coletado	28
Figura 8 - Produtos energéticos da pirólise	30
Figura 9 - Reator de leito fixo	32
Figura 10 - Produtos de conversão térmica de biomassa.....	34
Figura 11 - Fluxograma do processo metodológico para realização da pirólise	37
Figura 12 - O abacaxizeiro e os resíduos do fruto do abacaxi, coroa e casca. a) Abacaxizeiro; b) Coroa do abacaxi; c) Casca do abacaxi	38
Figura 13 - Biomassa oriunda da casca e coroa do abacaxi. a) Casca do abacaxi; b) Coroa do abacaxi.....	39
Figura 14 - Casca e coroa do abacaxi após análise granulométrica. a) Resíduo da casca do abacaxi; b) Resíduo da coroa do abacaxi.....	39
Figura 15 - Ensaio de densidade aparente da biomassa do abacaxi	41
Figura 16 – Método para determinação dos compostos lignocelulósico.....	43
Figura 17 – Etapas realizadas para o reparo dos briquetes da biomassa do abacaxi. a) Biomassa béquer graduado; b) Biomassa hidratada.....	46

Figura 18 – Detalhes do reator de leito fixo. 1) Câmara de queima; 2) Retorta (Flange de alumínio + tubo de mulita ou quartzo Ø50x800mm); 3) Controlador de temperatura; 4) Botão de carga; 5) Chave “desliga/liga” forno; 6) Botão de emergência; 7) Comunicação serial (opcional); 8) Regulador de fluxo, 9) Led “botão de emergência acionado”; 10) Led “ forno em funcionamento”	47
Figura 19 – Detalhes da produção e obtenção do bio-óleo e carvão. a), b) Reator de leito fixo	47
Figura 20 – Ensaio de adsorção azul de metileno. a) Amostras em mesa agitadora; b) Filtração das amostras.....	49
Figura 21 – Curva de calibração do corante azul de metileno para casca do abacaxi (660 nm)	50
Figura 22 – Curva de calibração do corante azul de metileno para coroa do abacaxi (660 nm)	50
Figura 23 – Cinética de perda de massa da casca do abacaxi a 50°C	55
Figura 24 – Cinética de perda de massa da coroa do abacaxi a 50°C.....	55
Figura 25 – Curva de degradação termogravimétrica da casca do abacaxi.....	58
Figura 26 – Curva de degradação termogravimétrica da coroa do abacaxi.....	58
Figura 27 - Bio-óleo derivado do resíduo do abacaxi.	60
Figura 28 – Detalhes do rendimento da produção e obtenção de carvão	62
Figura 29 – Resposta do diagrama de Pareto da casca do abacaxi.....	63
Figura 30 – Resposta do diagrama de Pareto da coroa do abacaxi.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química dos resíduos lignocelulósicos	21
Tabela 2 - Principais frutas produzidas no Brasil – Ano - 2016.....	22
Tabela 3 - <i>Ranking</i> da produção de abacaxi nos estados brasileiros	24
Tabela 4 - Municípios mais produtores de abacaxi no estado do Tocantins em Toneladas.....	24
Tabela 5 - Características dos tipos de pirólise.....	31
Tabela 6 - Faixas de obtenção de produtos pirolítico para os diferentes processos	31
Tabela 7 - Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes formas de pirólise de madeira (base seca).....	33
Tabela 8 - Normas utilizadas na caracterização da biomassa e carvão da casca e coroa do abacaxi	38
Tabela 9 – Fatores, efeitos e níveis empregados no planejamento experimental 2^{4-1}	45
Tabela 10 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2^{4-1}	45
Tabela 11 - Análise da densidade da biomassa da casca do abacaxi	52
Tabela 12 - Análise da densidade da biomassa da coroa do abacaxi.....	52
Tabela 13 – Densidade de algumas biomassas agroindustriais	53
Tabela 14 - Análise imediata da biomassa da casca e coroa do abacaxi	54
Tabela 15 - Poder calorífico de algumas biomassas agroindustriais	56
Tabela 16 - Análise Elementar da Biomassa	57
Tabela 17– Composição química da biomassa da casca e coroa do abacaxi.....	59
Tabela 18 - Rendimento do carvão e bio-óleo obtido no processo de pirólise da casca do abacaxi	61
Tabela 19 - Rendimento do carvão e bio-óleo obtido no processo de pirólise da coroa do abacaxi	61
Tabela 20 - Análise da densidade do carvão da casca do abacaxi	64

Tabela 21 - Análise da densidade do carvão da coroa do abacaxi.....	65
Tabela 22 – Densidade de alguns carvões agroindustriais	65
Tabela 23 - Análise imediata do carvão da casca e coroa do abacaxi.....	66
Tabela 24 - Análise Elementar do carvão	67
Tabela 25– Carbono Orgânico Total - COT.....	67
Tabela 26 - Teste de adsorção de azul de metileno, carvão da casca do abacaxi	68
Tabela 27 - Teste de adsorção de azul de metileno, carvão da coroa do abacaxi	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATG	Análise Termogravimétrica
CF	Carbono Fixo
TC	Teor de Cinzas
MV	Material volátil
CNH	Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
JIS	Japonesa Industrial Standard
PCS	Poder Calorífico Superior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

RESUMO

A quantidade de biomassa residual gerada nas cidades brasileiras tem sido um dos grandes problemas a serem enfrentados, uma das alternativas de reaproveitamento é a produção de briquetes e carvão vegetal por meio do processo de pirólise, o qual é aplicado no presente trabalho. O processo pirolítico é uma conversão química, que consiste na degradação de uma matéria orgânica com quantidade de oxigênio controlada. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a biomassa residual da casca e coroa do abacaxi, coletados no comércio de Palmas Tocantins, produzir e caracterizar o carvão obtido no processo. Foi realizado um planejamento fracionário 2^{4-1} , totalizando oito experimentos. Os fatores empregados no processo foram: temperatura de 500 a 550°C, taxa de aquecimento 10 a 20°C/min, vazão de gás de 1 a 4cm³/min, tempo de pirólise 30 a 60 min. Os resultados das análises empregadas para caracterização da biomassa da casca e coroa do abacaxi foram, respectivamente, umidade com 5,64 e 3,64 %, material volátil com 88,94 e 88,16%, teor de cinzas com 4,62 e 6,92% , carbono fixo com 0,79 e 1,26% , densidade aparente com 0,469 e 0,370 g/mL, análise elementar, carbono 40,87 e 40,60%, Nitrogênio 0,83 e 1,89% e hidrogênio 6,07 e 5,81%, análise Lignocelulósica, lignina 12,85 e 12,55%, celulose 24,32 e 43,12% e hemicelulose 12,55 e 19,15%, poder calorífico superior 17,77 e 17,59 MJ/kg.. Após o processo de pirólise foi realizado a caracterização dos finos de carvão da casca e coroa do abacaxi, os valores encontrados foram respectivamente, teor de umidade com 6,34 e 8,60%, material volátil com 28,76 e 48,44%, teor de cinzas com 11,53 e 17,46%, carbono fixo com 53,37 e 35,50%, densidade aparente com 0,262 e 0,150 g/mL, análise elementar, carbono 65,53 e 58,27%, nitrogênio 1,82 e 2,80% e hidrogênio 1,94 e 2,23%. Diante de todas as análises foi possível perceber que a biomassa da casca e da coroa do abacaxi possuem potencial energético favorável quando comparado com outras biomassas na literatura, entretanto a casca do abacaxi necessita de mais energia e tempo para secagem, sendo necessário um período de 11 dias para a secagem do material e de um maior cuidado no armazenamento. O tempo de desidratação da coroa foi de 6 dias.

Palavras chaves: Biomassa. Casca do abacaxi. Coroa do abacaxi. Pirólise.

ABSTRACT

The amount of residual biomass generated in Brazilian cities has been one of the major problems to be faced, one of the alternatives of reuse is the production of briquettes and charcoal by means of the pyrolysis process, which is applied in this Work. The pyrolytic process is a chemical conversion, which consists of the degradation of an organic matter with a quantity of controlled oxygen. The aim of this work was to characterize the residual biomass of the pineapple bark and crown, collected in the trade of Palms Tocantins, produce and characterize the coal obtained in the process. A fractional planning was performed 24-1, totaling eight experiments. The factors employed in the process were: temperature of 500 to 550 ° C, Heating rate 10 to 20 °c/min, gas flow from 1 to 4cm³/min, pyrolysis time 30 to 60 min. The results of the analyses employed for the characterization of the biomass of the peel and the pineapple Crown were , respectively, humidity with 5.64 and 3.64%, volatile material with 88.94 and 88.16%, ash content with 4.62 and 6.92%, fixed carbon with 0.79 and 1.26%, apparent density with 0.469 and 0.370 g/ML, elementary analysis, Carbon 40.87 and 40.60%, nitrogen 0.83 and 1.89% and hydrogen 6 ,07 and 5.81%, Analysis Lignocellulosic, lignin 12.85 and 12.55%, cellulose 24.32 and 43.12% and hemicellulose 12.55 and 19.15%, calorific higher Power 17.77 and 17.59 MJ/kgAfter the pyrolysis process was carried out the characterization of the charcoal fines of the bark and the pineapple crown, the values found were respectively, humidity content with 6.34 and 8.60%, volatile material with 28.76 and 48.44%, ash content with 11.53 and 17.46%, carbon Fixed with 53.37 e35,50%, apparent density with 0.262 and 0.150 g/ML, elementary analysis, Carbon 65.53 and 58.27%, nitrogen 1.82 and 2.80% and hydrogen 1.94 and 2.23%. Faced with all the analyses it was possible to realize that the biomass of the bark and the crown of the pineapple have favorable energy potential when compared with other biomasses in the literature, however the pineapple peel requires more energy and time for drying, It is necessary to have an 11-day period for drying the material and a greater care in storage. The time of the crown dehydration was six days.

Keywords: Biomass, Pineapple Peel, Pineapple Crown, Pyrolysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 O ABACAXI: ORIGEM, MORFOLOGIA E CULTIVARES	19
3.2. PRODUÇÃO DE ABACAXI	22
3.3 BIOMASSA RESIDUAL	26
3.3.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	27
3.4 BRIQUETES E PELETES.....	29
3.5 PIRÓLISE.....	29
3.6 EXPERIÊNCIAS DA PIRÓLISE DA BIOMASSA RESIDUAL DO ABACAXI.....	35
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1 COLETA E PREPARO DA BIOMASSA	38
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA	40
4.2.1 CINÉTICA DE PERDA DE MASSA	40
4.2.2 DENSIDADE APARENTE	40
4.2.3 ANÁLISE IMEDIATA	41
4.2.3.1 UMIDADE.....	41
4.2.3.2 TEOR DE CINZAS	41
4.2.3.3 MATERIAL VOLÁTIL	42
4.2.3.4 CARBONO FIXO	42
4.2.4 ANÁLISE LIGNOCELULÓSICA	43
4.2.5 PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS).....	43
4.2.6 ANÁLISE ELEMENTAR (CHN)	44
4.2.7 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (ATG).....	44
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA O PROCESSO DE PIRÓLISE.....	44
4.3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	44
4.4 ELABORAÇÃO DE BRIQUETES DA BIOMASSA E PRODUÇÃO DO CARVÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI	45
4.4.1 PRODUÇÃO DE BRIQUETES DA BIOMASSA.....	46
4.4.2 PRODUÇÃO DE CARVÃO	46
4.4.3 RENDIMENTO DOS PRODUTOS	47
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO	48
4.5.1 DENSIDADE APARENTE	48
4.5.2 ANÁLISE IMEDIATA	48
4.5.3 ANÁLISE ELEMENTAR (CHN)	48
4.5.4 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)	49
4.5.5 ENSAIO DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO	49
4.5.6 DETERMINAÇÃO DO PH.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA E COROA DO ABACAXI.....	52
5.1.1 DENSIDADE APARENTE	52
5.1.2 ANÁLISE IMEDIATA	53
5.1.3 CINÉTICA DE PERDA DE MASSA	54
5.1.4 PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	56
5.1.5 ANÁLISE ELEMENTAR (CHN)	56

5.1.6 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (ATG)	57
5.1.6 ANÁLISE LIGNOCELULÓSICA	59
5.2 RENDIMENTOS DO PROCESSO DE PIRÓLISE.....	60
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI.....	64
5.3.1 DENSIDADE APARENTE	64
5.3.2 ANÁLISE IMEDIATA	65
5.3.4 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)	67
5.3.5 TESTE DE ADSORÇÃO EM AZUL DE METILENO.....	68
5.3.6 ANÁLISE DE PH.....	69
6 CONCLUSÕES.....	70
7 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Devido ao esgotamento de reservas de combustíveis fósseis e a grande necessidade de redução na emissão de gases do efeito estufa, tem-se buscado mundialmente fontes de energias renováveis. As principais fontes de energias renováveis no Brasil são de origem: hídrica, solar, eólica e biomassa.

Diante da situação que o planeta vive, os altos custos dos combustíveis fósseis, da probabilidade de seu esgotamento e a necessidade de redução de impactos ambientais a utilização da biomassa residual como alternativa para obtenção de energia renovável proporciona ao desenvolvimento socioeconômico e a redução dos impactos ambientais (SEBRAE, 2009).

Conforme o Ministério de Minas e Energia (MME, 2017), a matriz energética no Brasil terá cada vez mais participação relevante em relação a matriz energética global, devido ao país possuir uma situação de privilégio em relação a fontes de energia renovável. A Oferta Interna de Energia (OIE) renovável é de 43,9% no Brasil, enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos chega a 6% (BEN, 2017). Todo este desenvolvimento deu-se por meio da implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME) pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. O programa foi criado para estruturar o país com relação a projetos que visam a utilização de fontes limpas e sustentáveis para a geração de energia.

No ano de 2016, a matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo com relação a fontes de energias renováveis, umas das grandes vantagens do país possui em relação aos demais é a sua alta taxa de luminosidade e sua grande área territorial, quase toda localizada em áreas chuvosas e tropical, proporcionando a produção e o uso energético da biomassa em larga escala, além de possuir um programa de biomassa estruturado e viável (PACHECO, 2006; ANEEL, 2016).

O abacaxi é a terceira fruta mais produzida no Brasil em lavouras temporárias, um fator relevante para isto é a localização geográfica do país, a maior produção ocorre na região Norte, mais especificamente no estado do Pará. A região Norte é a que possui o serviço de coleta de resíduos sólidos mais precário do Brasil, acarretando, portanto, uma problemática quanto a geração de resíduos sólidos, resíduos estes que podem ser reaproveitados como um grande

potencial para geração de energia por meio da biomassa residual do fruto (IBGE,2016; IBGE,2017).

O estado do Tocantins é um dos grandes produtores de abacaxi no país, no *ranking* de produção ele se encontra na nona posição, números estes que a cada ano só aumentam, além de produzir um fruto no qual possui um sabor adocicado devido a qualidade do solo e as condições climáticas serem favoráveis para a plantação (IBGE,2016; IBGE,2017; Minas Gerais, 2017).

A biomassa é classificada como qualquer matéria orgânica, podendo ter origem agrossilvopastoris, bem como ser obtida a partir de resíduos sólidos urbanos e industriais. Uma de suas principais utilizações é na obtenção de energia renovável, seja ela mecânica, térmica ou elétrica. As plantas na forma de hidratos de carbono por meio de sua fotossíntese produzem energia química (PACHECO, 2006; ANEEL, 2008).

Uma das formas mais comuns para a conversão em energia é o processo de conversão termoquímica, podendo ser por meio da combustão, gaseificação, liquefação e carbonização (SANTOS, 2010).

A utilização da biomassa para fins energéticos ocorre há milhões de anos. A madeira até o século XVIII era a principal fonte de energia, já na década de 1970 a energia oriunda da biomassa começa a ter destaque dentre as fontes geradoras de energia no Brasil. Dentro do estímulo os programas do Governo Federal, por meio do Ministério das Minas e Energia (GALDINO *et al.*, 2000; DA SILVA, 2016).

Diferentes tipos e fontes de biomassa podem ser convertidas em energia, gerando, portanto, a bioenergia. A bioenergia veio para competir com combustíveis fósseis e com outras fontes de energias não renováveis, é uma fonte renovável, pois seus suprimentos virtualmente são ilimitados, podendo ser sempre cultivados e com isso gerando resíduos (MCKENDRY, 2002).

Devido à grande quantidade de biomassa residual produzida nas atividades agrícolas e florestais, o Brasil possui um grande depósito de energia que pode ser melhor aproveitada na forma de briquetes e peletes (DIAS *et al.*, 2012).

As atividades agrícolas em vários países têm proporcionado um aumento na quantidade de biomassa proveniente destas atividades e uma busca de novas alternativas para sua utilização tem sido um grande desafio, uma vez que quando descartados de maneira indevida provocam problemas ambientais seríssimos (ABIOYE, 2015).

A geração de resíduos sólidos bem como sua disposição inadequada gera impactos socioambientais, tais como degradação do solo, poluição dos recursos hídricos, poluição do ar, intensificação de enchentes e proliferação de doenças. Todos estes problemas só reforçam a

importância da utilização destes resíduos para produção de novos produtos e geração de energias renováveis visando o desenvolvimento socioeconômico do país (BESEN *et al.*, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi estudar a viabilidade de aproveitamento energético da biomassa residual da casca e coroa do abacaxi oriundo do setor agroindustrial de Palmas - Tocantins para produção do carvão obtido através do processo de pirólise em reator de leito fixo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar os resíduos da biomassa casca e coroa do abacaxi *in natura*;

Determinar o delineamento experimental, para obtenção das frações dos produtos sólido, líquido e gasoso;

Tratar piroliticamente os resíduos da casca e coroa do abacaxi;

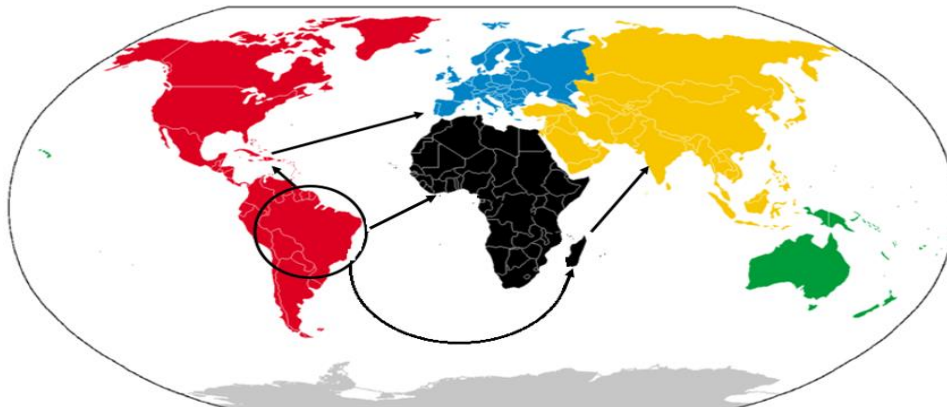
Analisar as frações do carvão obtido no processo de pirólise através da densidade aparente, análise imediata, análise elementar, carbono total, ensaio de adsorção em azul de metileno e pH.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O ABACAXI: ORIGEM, MORFOLOGIA E CULTIVARES

A origem do abacaxizeiro (*Ananas comosus var. comosus*) (Figura 1) deu-se na América tropical e subtropical, muito provavelmente das regiões centrais e sul do Brasil e foi conhecido mundialmente quando foi levado para a Europa, Ásia e África. Com destaque na fruticultura tropical, o abacaxi é uma planta monocotiledônea, herbácea e perene, da família da Bromeliaceae (CUNHA; CABRAL, 1999; MEDINA *et al.*, 1978; GURGEL, 2017).

Figura 1 - Origem do abacaxi, assinalado com o círculo, e diferentes rotas de dispersão da fruta para as outras regiões do mundo, demonstradas por meio das setas



Fonte: Adaptado de Crestani *et al.* (2010).

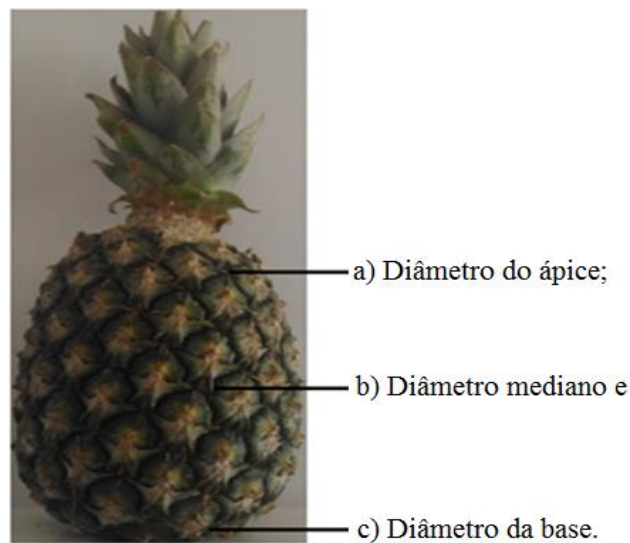
Os abacaxis pertencem ao gênero *Ananás* da família bromeliaceae, tem a capacidade de armazenar água tanto no tecido especial de suas folhas como nas axilas destas. É composto por um caule (talo) curto e grosso, composto por folhas que crescem ao redor, em forma de calhas, estreitas e rígidas (REINHARDT, 2000).

Sendo uma planta de clima tropical, tem um melhor crescimento quando a produção se encontra em regiões com a temperatura entre 22-32°C e com variação térmica entre dia e noite de 8-14°C, com uma alta incidência solar, suas características são adaptadas para clima seco, porém com uma boa irrigação (REINHARDT, 2000).

Pode-se classificar as folhas do abacaxi em A, B, C, D, E e F segundo o seu formato e posição que ocupa na planta, da mais velha e externa para a mais nova e interna. O desenvolvimento da planta dar-se em vários ciclos, sendo o primeiro variando entre 13 a 18 meses e o segundo entre 11 a 13 meses, embora possa ter vários ciclos, do ponto de vista comercial é explorado no máximo dois ciclos da cultura (REINHARDT, 2000).

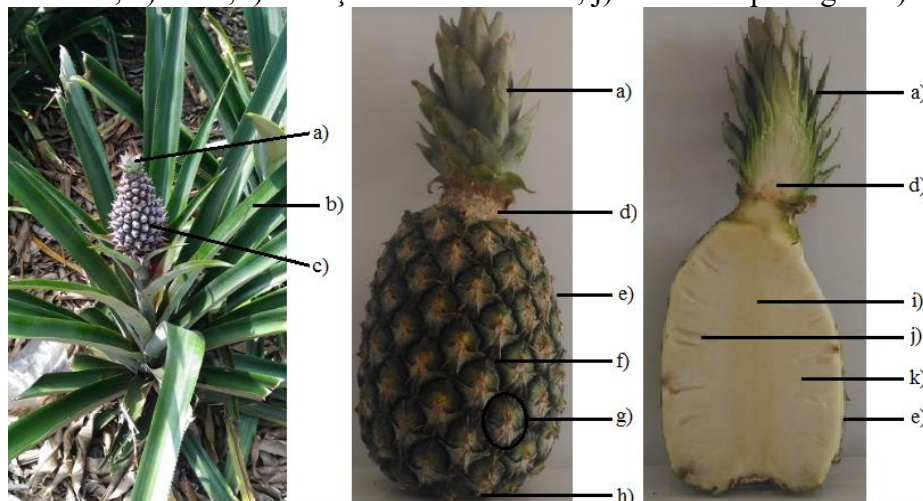
A composição do fruto abacaxi geralmente é cilíndrico ou levemente cônico no ápice (Figura 2), apresenta de 100 a 200 bagas sobre o eixo central, sua cor pode ser branca, amarela ou laranja-avermelhada, contém peso variável dependendo da espécie, entretanto o peso médio pode chegar a um quilo, sendo que deste total cerca de 25% está contido na coroa (Figura 3). Uma planta pode ter de altura entre 1 a 1,2 metros e seu diâmetro pode chegar de 1,3 a 1,5 metros (GIACOMELLI, 1981 *apud* GRANADA, 2004).

Figura 2 – Esquema com os pontos de obtenção das variáveis: diâmetro do ápice, mediano e da base



Fonte: Adaptado de Bremenkamp (2011).

Figura 3 – Morfologia do abacaxi. a) Coroa; b) Folha; c) Fruto; d) Ápice; e) Casca; f) Malha; g) Frutículos; h) Base; i) Coração ou eixo central; j) Frutílo tipo baga e k) Polpa

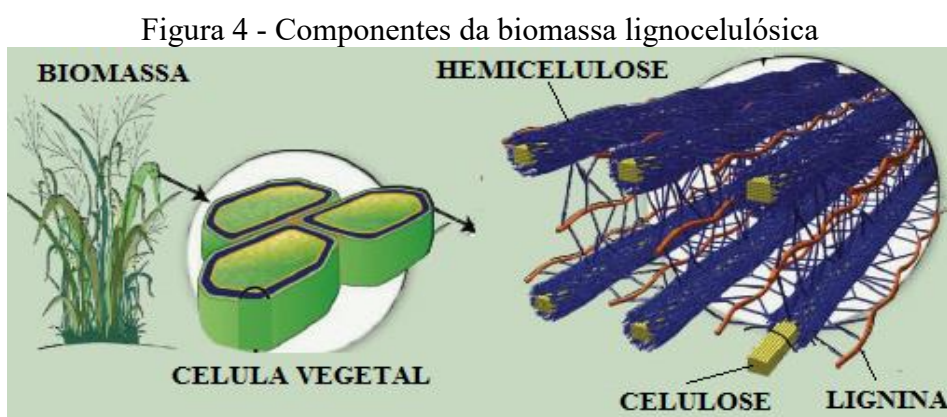


Fonte: Adaptado de Ceasaminas (2017).

O tipo pérola, conhecido como Pernambuco ou Branco Pernambuco, é o mais cultivado no Brasil e caracteriza-se por apresentar plantas eretas, folhas longas e espinhosas podendo

chegar até 65cm de comprimento, cor amarelada, polpa branca, com um peso médio do fruto de 1 a 1,5 quilo. Os resíduos gerados do abacaxi podem chegar até 38% do seu peso (CUNHA, 2003; GIACOMELLI, 1981 *apud* GRANADA, 2004; MORETTI, 2006).

Os resíduos lignocelulósicos em sua composição apresentam uma grande quantidade de lignina (polímeros de fenol), hemicelulose (polímeros de açúcar com cinco carbonos) e celulose (polímeros de glicose com seis carbonos) e geralmente são utilizados para diversas aplicações, dependendo da composição e das propriedades físicas de cada um (Figura 4). Na Tabela 1 é possível avaliar um estudo da composição química da casca do abacaxi.



Fonte: Adaptado de Yarris (2017).

Tabela 1 - Composição química dos resíduos lignocelulósicos

Biomassa	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Casca de Abacaxi	83	–	12
Folha do abacaxi	70 - 83	18	5 - 12
Folha do abacaxi	37,93 ± 3,8	23,9 ± 2,0	27,53 ± 1,94
Bagaço de cana	54,3 – 55,2	16,8 – 29,7	24,3 – 25,3
Bambu	33 – 45	30	20 – 25
Palha de arroz	51 – 70	–	12 – 16
Coco	43,4 – 53	14,7	38,3 – 40,8
Algodão	90	6	–

Fonte: Adaptado de Satyanarayana (2007); Correia (2011); Santos (2013).

Os componentes químicos das biomassas lignocelulósico podem variar de acordo com a época do ano que são produzidos, dependendo do tipo de fertilizantes e outros elementos

inseridos no plantio. Dentro da composição química de uma biomassa é possível estar presente alguns minerais tais como: cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio, cobre e iodo (LOUSADA *et al.*, 2006).

Os materiais lignocelulósicos estão presentes nas biorefinarias em formas de diversos tipos de fontes de biomassas para a produção de vários produtos englobando várias tecnologias. A biomassa celulósica apresenta em sua composição cerca de 40-50% de celulose, 25-35% de hemicelulose e cerca de 15-20% de lignina, além de outros componentes presentes em sua composição (WYMAN, 2005, FERNANDO *et al.*, 2006).

3.2. PRODUÇÃO DE ABACAXI

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão, detentor de riquezas naturais e matérias primas, promovendo o extrativismo mundial, possuindo áreas férteis e um clima tropical que favorece o desenvolvimento agrícola. A agricultura têm um papel importante no crescimento econômico do Brasil, nas últimas três décadas alcançou um forte crescimento, desempenhando um papel importante no mercado internacional levando à alcançar a segunda posição mundial dos maiores exportadores agrícola. A consolidação da fronteira agrícola nas regiões Centro-Oeste e Norte aumentou a produtividade nos últimos vinte anos (OCDE - FAO, 2015).

No *ranking* mundial de produção de frutas, o Brasil ocupa a terceira colocação com uma produção de 40,2 milhões de toneladas, as colheitas mais significativas são de laranja, banana, abacaxi, melancia, Castanha-de-caju e mamão, as produções das três principais frutas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais frutas produzidas no Brasil – Ano - 2016

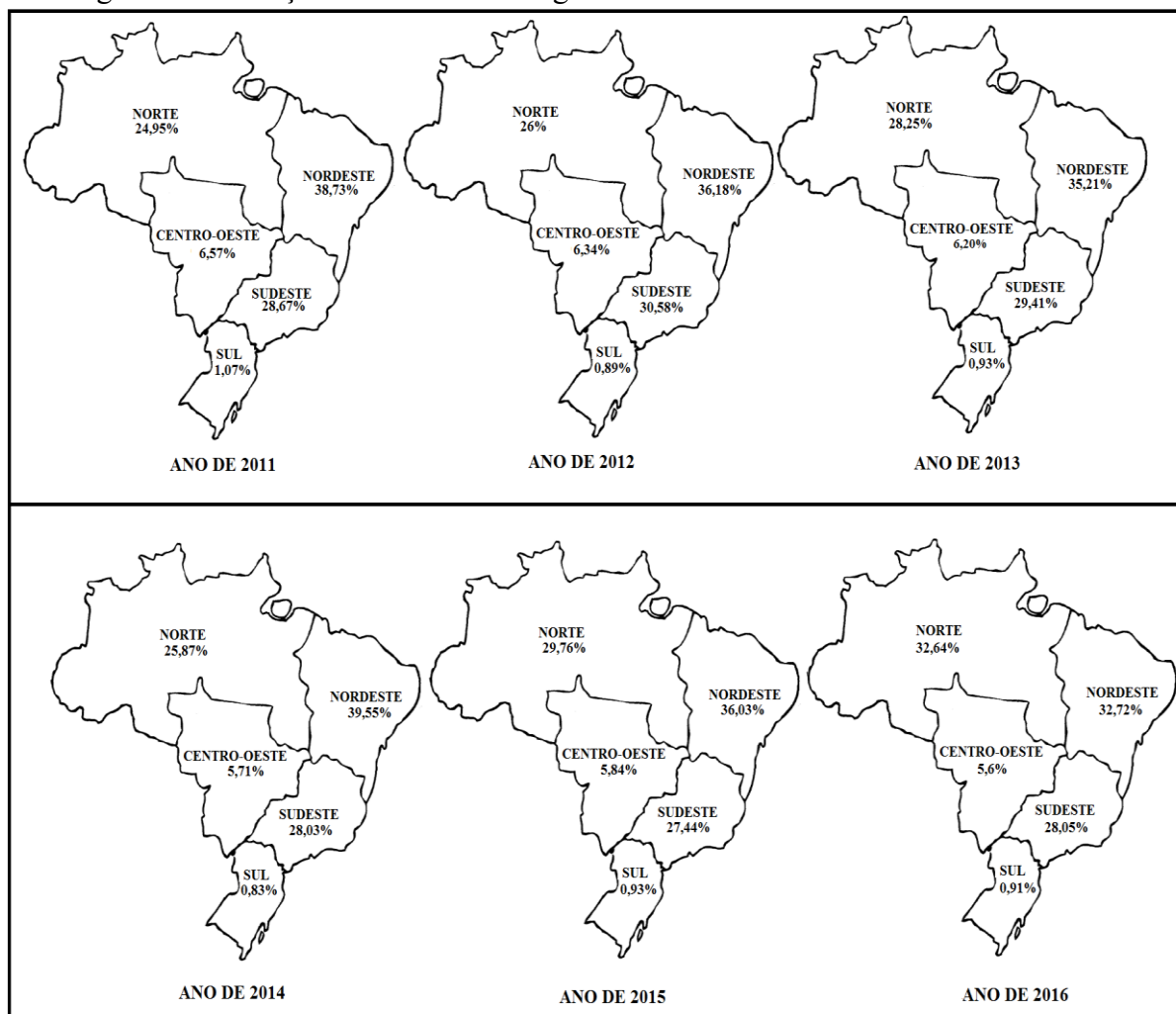
FRUTAS	ÁREA (ha)	Produção (%)
Laranja	667.529	40,5
Banana	474.054	17,6
Abacaxi	68.618	8,7
Uva	77.119	2,5
Maçã	34.399	2,7
Demais frutas	1.256.929	28,1
TOTAL	2.578.648	100,0

Fonte: Andrade (2017).

O mercado interno é um grande detentor da produção de frutas do país. As principais frutas produzidas são: banana, maçã, uva, melão e frutas tropicais, em especial a manga, abacate

e abacaxi. O abacaxi é a terceira fruta mais produzida no Brasil, correspondendo a uma parcela de 8,7% da produção total de frutas, ficando abaixo apenas da produção de laranja e banana. Dentre as principais variedades, na expansão de área e na melhoria dos níveis de produção, as principais regiões produtoras são o Nordeste, Norte e Sudeste conforme a Figura 5 (MELETTI, 2011; OECD -FAO, 2015; IBGE, 2017, ANDRADE, 2017).

Figura 5 – Produção de abacaxi nas regiões brasileiras entre os anos de 2011 a 2016



Fonte: Adaptado de IBGE - Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes (2017).

Para economia brasileira o abacaxi é um produto que tem grande importância devido a propagação do cultivo e a ampliação da indústria para importação e exportação. Das centenas de variedades que existem, as mais conhecidas e comercializadas no Brasil são o do tipo pérola, amarelo comum e *smooth cayenne* (havaino) (RODRIGUES, 2006).

Todas as regiões e unidades da federação brasileira possuem produção de abacaxi. O Tocantins o estado mais novo, têm participação correspondente a 4,2% na produção total de

frutos de abacaxi no Brasil, conforme Tabela 3. O estado apresenta algumas vantagens quanto a sua boa localização, grandes extensões de terras, rotas viárias, clima e outros fatores favoráveis para a produção dos frutos (LEITE, 2003; PEREIRA, 2009; SEAGRO, 2016).

Tabela 3 - *Ranking* da produção de abacaxi nos estados brasileiros

POSIÇÃO	ESTADO	PRODUÇÃO (Milhões de frutos)	PARTICIPAÇÃO %
1º	Pará	308,7	19,3
2º	Paraíba	268,3	16,8
3º	Minas Gerais	242,1	15,2
4º	Bahia	125,1	7,8
5º	São Paulo	96,1	6,0
6º	Rio de Janeiro	93,3	5,8
7º	Rio Grande do Norte	84,4	5,3
8º	Amazonas	70,6	4,4
9º	Tocantins	66,6	4,2
	Demais estados	241,3	15,1
	Produção Total	1.596,5	100,0

Fonte: Minas Gerais (2017).

Miracema, Miranorte, Pau D'Arco são os municípios que mais produziram abacaxi nos últimos anos, sendo o município de Miracema o maior produtor de abacaxi desde 2010 (Tabela 4).

Tabela 4 - Municípios maiores produtores de abacaxi no estado do Tocantins (em Toneladas)

CIDADES / ESTADO (TO)	ANOS					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Aparecida do Rio Negro	4000	4000	360	1900	-	-
Barrolândia	1000	2000	1200	2000	-	-
Bernardo Sayão	-	-	-	1600	900	5400
Brejinho de Nazaré	1000	2000	1040	1375	-	5500
Dois Irmãos do Tocantins	1600	800	1200	4000	-	-
Miracema	12000	8000	9000	2600	2000	18000
Miranorte	5000	5600	3000	4600	3000	6000
Monte Santo do Tocantins	1000	1000	600	500	-	-
Pau D'Arco	1800	1500	5400	5400	2000	2200
Porto Nacional	1400	1600	1400	1000	1224	2500
Rio dos Bois	1000	1000	800	1000	1000	500
Tocantins	41946	39664	34270	41503	16266	56850

Fonte: IBGE Produção Agrícola Municipal (2016).

Cerca de 60% da produção de abacaxi no estado provém da agricultura familiar, apresentando um mercado competitivo devido os avanços na logística e comercialização do fruto *in natura* (LEITE, 2003; PEREIRA, 2009; SEAGRO, 2016).

O Tocantins conta também com plantios nos projetos irrigados São João, município de Porto Nacional e Manoel Alves, em Dianópolis. O Tocantins chega a exportar cerca de 90% de toda a sua produção para outros estados, os principais compradores são Rio de Janeiro, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Bahia, Distrito Federal, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (SEAGRO, 2016; SEAGRO, 2017). Nos últimos anos a produção de abacaxi no estado do Tocantins aumentou em 35% quando comparado o ano de 2010 com 2015, o que implica, portanto, uma maior geração de resíduos pós-consumo.

As indústrias de beneficiamento industrial de polpa de frutas para produção de sucos são geralmente as maiores produtoras dos resíduos do abacaxi. A parte comestível do abacaxi representa cerca de 22,5% a 35% do fruto em massa; a outra parte é considerada resíduo, que é composto por cascas, coroas (Figura 6) e talos. (ROGÉRIO *et al.* 2004; SILVA, 2011).

Na região Norte do Brasil o abacaxi é bastante industrializado. No processo de industrialização cerca 40-60% em massa se converte em resíduo. Os principais destinos para os resíduos do abacaxi são para alimentação humana (barra de cereais, geleia, sucos), alimentação de animais e para a indústria têxtil que vem estudando as fibras naturais na fabricação de tecidos e cordas (OLIVEIRA, 2004; YANO, 2007; DA SILVA, 2009; FONSECA, 2011; LIMA, 2017).

Figura 6 - Resíduos do abacaxi. a) Casca do abacaxi e b) Coroa do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

3.3 BIOMASSA RESIDUAL

Todo e qualquer resíduo derivados de matéria vegetal ou animal é conhecido como biomassa, podendo ter origem dos resíduos agrossilvopastoris; da matéria orgânica contida nos resíduos industriais, resíduos domiciliares, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços. Toda e qualquer biomassa pode ser utilizada como fonte de energia renovável.

O uso da biomassa residual, gerada a partir das atividades da agricultura, reduz a necessidade de utilizar recursos naturais como fonte de energia. Diversas fontes renováveis de biomassa residual são provenientes da lenha, o carvão vegetal, os óleos vegetais, resíduos vegetais, sisal, biogás, resíduos de animais (DA SILVA, 2017).

As características de uma biomassa dependem do clima e condições do solo, bem como a sua utilização como matéria prima de conversão depende de suas propriedades moleculares químicas e físicas. Uma biomassa é composta quimicamente por carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e cloro, enquanto em outras biomassas pode ser encontrada em menores quantidades os elementos químicos Si, Mg, Al, S, Fe, P, Cl e Na. Sendo que esta ordem pode ser mutável de acordo com o tipo de biomassa estudada (MCKENDRY, 2002; VASSILEV, 2010; SAIDUR *et al.*, 2011).

Algumas análises são fatores determinantes para o estudo da composição da biomassa, sendo elas a análise imediata (teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo), análise química expressa em teores de lignina, celulose, hemicelulose e extrativos e a análise elementar (teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio).

A principal importância de se conhecer a composição da biomassa dá-se pelo fato de que é por meio das características de cada material que ocorre a distribuição dos produtos obtidos no processo de pirólise, conforme a proporção dos componentes que os constituem (carvão, bio-óleo e gás) (FIGUEIREDO, 2011).

A geração de resíduos acontece nas diversas atividades humanas, alguns resíduos podem ser classificados como biomassa residual que quando disposta de maneira incorreta acarreta diversos problemas ambientais, devido liberarem altíssimas cargas orgânicas, além de nutrientes e minerais (BLEY JR, 2009).

O desenvolvimento do país é um fator relevante para o aumento da produção de resíduos sólidos, gerando grandes problemas quanto à disposição incorreta. O Brasil se destaca no cenário mundial em relação a biorefinarias. A preocupação com a disposição deste material de forma adequada, ambientalmente segura, fez com que o país implantasse leis para regular e impedir o descarte inadequado (EICHLER *et al.*, 2015).

3.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Saneamento Básico, Lei Nº 11.445, de 2007 que menciona os aspectos relacionados à limpeza urbana, gestão e manejo dos resíduos sólidos no Brasil, bem como a Lei Nº 12.305 de 2010, regulamentada por meio do Decreto Nº 7.404 de 2010, que constitui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Estas leis servem de parâmetros para o poder público e privado atuarem nos setores de limpeza urbana, gestão e manejo dos resíduos sólidos proporcionando ambientes mais limpos e saudáveis.

Segundo a Lei Nº 12.305 (BRASIL, 2010), é considerado resíduos sólidos:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010);

Os resíduos são classificados quanto a sua origem em: domiciliares, de limpeza urbana, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, serviço de transporte, mineração. São também classificáveis quanto à periculosidade como, perigosos e não perigosos, de acordo com o Art. 13 da Lei Nº 12.305 (BRASIL, 2010).

Aprovada há oito anos, a PNRS estabeleceu medidas que contribuem com a redução de geração de resíduos, uma das principais medidas é a reciclagem que visa com que a indústria possa ter este produto novamente em sua produção. Todas as medidas para redução dos resíduos sólidos devem ser realizadas não apenas pelo governo federal, estadual ou municipal; nem somente aos fabricantes, lojas ou consumidores e sim pela sociedade como um todo.

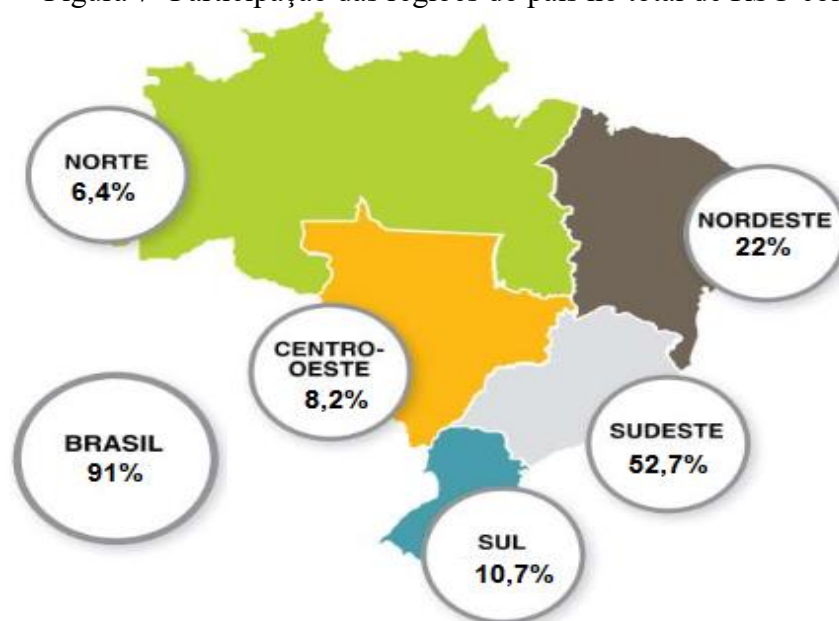
Os resíduos sólidos oriundos das atividades agrícolas provocam grandes impactos ambientais quando dispostos de maneira inadequada. Portanto, o manejo adequado para estes resíduos contribui para preservação do meio ambiente e a promoção a saúde bem como a qualidade do solo, da água e do ar (GOUVEIA, 2012; DORES SILVA *et al.*, 2013).

Segundo Waldman (2011), as atividades que mais produzem resíduos sólidos são a pecuária, mineração e a agricultura, correspondendo até 90,5% do total gerado. O restante fica distribuído entre as atividades industriais com uma geração de 4%, a construção civil com 3% e os resíduos domiciliares com 2,5%.

No Brasil a matéria orgânica gerada nas residências soma cerca de 50% da massa do lixo coletado enquanto nos Estados Unidos representa 12%, Índia 68% e França 23%. Apenas 3% desse material gerado no país é reaproveitado em processo de compostagem (CEMPRE, 2016).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), a quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil no ano de 2016 foi quase 78,3 milhões de toneladas, 2% menor que o ano de 2015. Do total coletado cerca de 7 milhões de toneladas receberam destino inadequado, pois aproximadamente 3.331 municípios brasileiros não possuem aterro sanitários, destinando, portanto, seus resíduos a aterros controlados ou lixões. A Figura 7 mostra o percentual de RSU que cada região do país coletou em 2016, o menor índice é na região Norte.

Figura 7- Participação das regiões do país no total de RSU coletado



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016).

A região Norte do país conta com 450 municípios que em 2016 geraram 15.444 toneladas/dia de RSU, deste total apenas 81% foram coletados, dos quais cerca de 64,6%, o equivalente a 8.071 toneladas diárias, são destinados de maneira inadequada para aterros controlados ou lixões, onde o chorume, líquido originado pela decomposição, não é tratado e pode contaminar os lençóis d'água (ABRELPE, 2016).

A fim de evitar ao descarte inadequado e a disposição final de grande parte de resíduos sólidos, faz-se necessário algumas medidas de aproveitamento dos resíduos tais como: alimentação animal através da fabricação de farelos e ração; biodigestores para o fornecimento

de biogás combustível e do biofertilizante; e compostagem que gera o adubo agrícola orgânico, produção de carvão vegetal, dentre outras alternativas.

3.4 BRIQUETES E PELETES

Por apresentar uma localização geográfica e condições climáticas favoráveis para a produção agrícola o Brasil é um dos países que mais produz frutas no mundo, em consequência disto, tem-se um crescimento na produção de biomassa residual favorecendo a sua posição no *ranking* dos maiores produtores de energia renovável (VIEIRA, 2012; WALTER, 2014).

A biomassa residual pode ser transformada em briquetes ou peletes. A produção de briquetes e peletes são oriundos dos resíduos lignocelulósicos, utilizados para a geração de energia na forma de calor ou eletricidade. Os peletes e briquetes podem ser preparados em diferentes tamanhos e formatos variando de acordo com o tipo de compactadora utilizada, sua origem pode ser de qualquer resíduo agrossilvopastoris e tem como principal finalidade substituir a lenha em usos residenciais, industriais e comerciais, tais como: olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias, laticínios, fábricas de alimentos, indústrias químicas, têxteis e de cimento dentre outros (DIAS *et al.*, 2012).

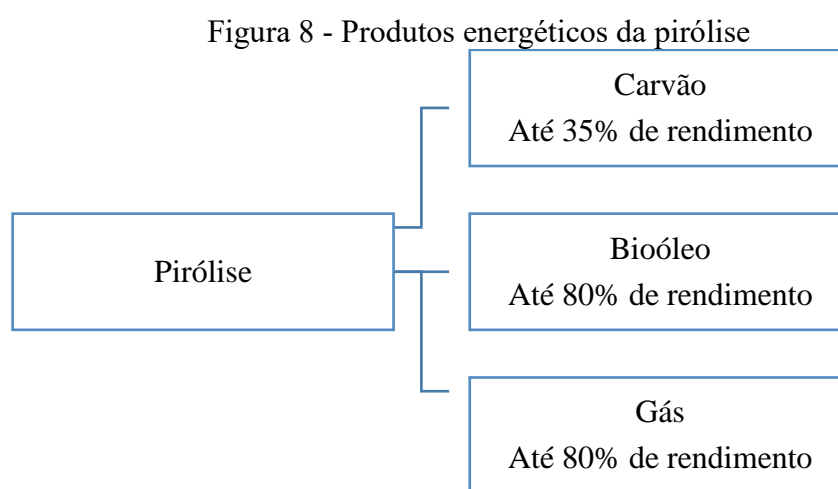
O briquete é um produto comprimido denominado material energético, considerado como uma alternativa aproveitamento dos resíduos de biomassa. A briquetagem consiste no processo de trituração e compactação de resíduos que necessita em seu processo de temperaturas elevadas para a transformação. Os briquetes tem grande potencial de geração de calor quando comparados com a biomassa *in natura*, substituindo de forma eficiente o gás, a energia elétrica, o carvão vegetal, o carvão mineral e a lenha, dentre outros combustíveis utilizados nos processos industriais (SCHUTZ, 2010; DA SILVA, 2017). O aproveitamento energético por meio das biomassas disponíveis, tende a promover o desenvolvimento de muitas regiões oportunizando a geração de empregos (ANEEL, 2005).

O consumo de energia está diretamente ligado ao aumento populacional e os avanços tecnológicos. As mudanças climáticas refletem no aquecimento global e no intuito de amenizar este problema é que se estuda a utilização de fontes de energias renováveis por meio da produção de briquetes oriundos da biomassa residual (SEBRAE, 2009).

3.5 PIRÓLISE

A pirolise é um processo de conversão da matéria orgânica em produto energético, podendo ser chamada de carbonização da matéria, ocorre geralmente a partir de uma

temperatura de 400°C até o início do sistema de gaseificação 1000°C. Todo o processo de decomposição térmica deve acontecer na ausência total ou parcial de oxigênio e em temperaturas elevadas, formando os seus subprodutos (gás, óleo e carvão) que dependem do tipo de biomassa e de seu planejamento experimental no reator (Figura 8). Os percentuais encontrados dos subprodutos dependem diretamente da composição da biomassa, uma vez que cada material quando pirolisado corresponde de maneira particular devido os seus componentes constituintes (PEDROZA et al., 2010; FIGUEIREDO, 2011; PEDROZA, 2011; OLIVEIRA, 2015).



Fonte: Mckendry (2002).

Pirólise ou carbonização é o método mais antigo e simples de transformação de um material combustível em outro com propriedades superiores. Envolve reações químicas, que por meio de altas temperaturas transforma a biomassa, em um ambiente com quase ausência de oxigênio, em compostos sólido rico em carbono (carvão), composto líquido e em gases condensáveis (ANEEL, 2005).

Segundo Castellucci (2014), o processo de pirólise consiste em um processo termoquímico, que destrói a biomassa na ausência de oxigênio ou ar, convertendo-a em substâncias sólidas (carvão), líquido (bio-óleo) e gás (gás combustível).

De acordo com Rocha *et. al.*, (2004) o processo de conversão térmico originado pela pirolise dá-se pela ruptura de ligações carbono-carbono e na origem de ligações carbono-oxigênio. Neste processo, uma parte da biomassa é reduzida a carbono denominando-se um processo de oxidação-redução, porém, uma outra parte é oxidada e hidrolisada formando fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos.

A pirólise pode ser dividida em três tipos, sendo ela lenta, rápida e ultrarrápida (Tabela 5 e 6). Os fatores determinantes de qual tipo de pirólise realizar é o tipo de produto (sólido, líquido ou gasoso) que se deseja obter (DA SILVA MOTA, 2015).

Tabela 5 - Características dos tipos de pirólise

Tipo de pirólise	Taxa de Aquecimento	Tempo de Ensaio	Principal Produto Obtido
Pirólise Lenta	Lenta	Alto	Carvão
Pirólise Rápida	Rápida	Baixo	Bio-óleo
Pirólise Ultrarrápida	Muito rápida	Muito baixo	Gases

Fonte: Da Silva Mota (2015).

Tabela 6 - Faixas de obtenção de produtos pirolítico para os diferentes processos

QUANTIDADE PRODUZIDA POR PRODUTO (%)			
Tipo de pirólise	Carvão	Bio-óleo	Gases
Pirólise Lenta	Alto	Médio	Baixo
Pirólise Rápida	Baixo	Alto	Médio
Pirólise Ultrarrápida	Muito Baixo	Baixo	Alto

Fonte: Da Silva Mota (2015).

Em uma usina de conversão termoquímica o equipamento de maior importância é o reator. Existem vários tipos de reatores que foram projetados para este processo, sendo o principal objetivo aumentar a produção dos componentes resultantes. Os principais tipos são: leito fluidizados (borbulhante e circulante); leito fixo, leito de jorro; cilindro rotativo; reator ciclônico; cone rotativo e outros (DA SILVA MOTA, 2015).

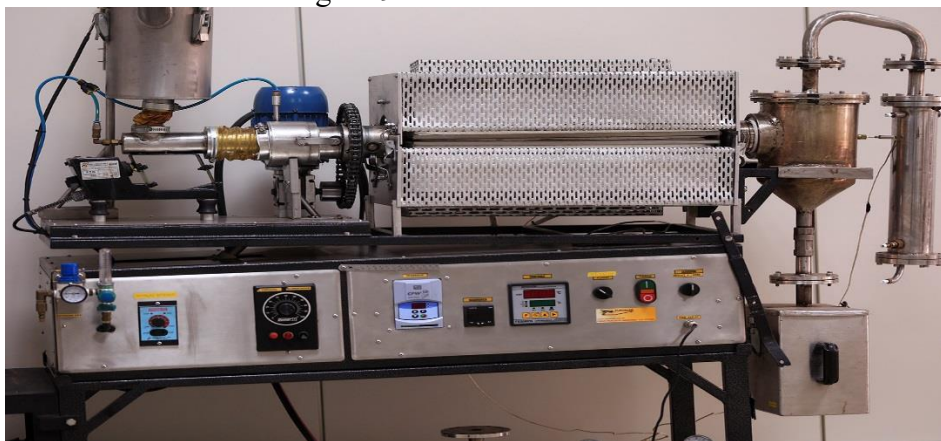
As taxas de rendimentos dos produtos obtidos em um processo de pirólise (sólidos, gases e líquidos) dependem dos parâmetros utilizados nos reatores, tais parâmetros estes são as taxas de aquecimento, temperatura, tempo e vazão de gás. Tendo como principal objetivo obter produtos com propriedades energéticas maiores que da biomassa inicial (VIEIRA, 2004).

Os reatores de leito fixo (Figura 9), são compostos geralmente por partes tubulares de aço inox, com diâmetro de 5-8 cm e comprimento de 80-110 cm. Possui estado estacionário da biomassa por todo o do processo, transformando-a em um sólido (carvão), enquanto os produtos gasosos e líquidos (gás e bio-óleo) são impelidos para fora do sistema, este sistema é denominado de bancada e sua capacidade de conversão é de 25-100 gramas (Figura 9) (MARTINI, 2009).

Uma das primeiras indústrias a utilizar o carvão vegetal foi a siderúrgica. No início o carvão era proveniente das matas nativas, com a escassez de matéria prima e o alto índice de desmatamento, foi necessária a criação de políticas públicas em 1960 que por meio de

incentivos fiscais favoreceu a adoção de práticas de reflorestamento. Todo o impulso da indústria siderúrgica fez com que o carvão vegetal ganhasse destaque na matriz energética brasileira (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Figura 9 - Reator de leito fixo



Fonte: Expressão sergipana - Portal de notícias (2018).

Boa parte de toda a madeira produzida é destinada para produção de carvão vegetal, tornando o Brasil o maior produtor mundial desta fonte de energia. Os setores que mais consomem o carvão vegetal são os de aço, ferro-gusa e em menor escala encontra-se o comércio e residências (IBÁ, 2015).

O carvão vegetal comparado com o carvão mineral apresenta grandes vantagens, por ser um material renovável, possuir menos poluentes (menor teor de cinzas), contar com uma tecnologia de fabricação consolidada no Brasil, e ainda pode ser considerado como um dos redutores energéticos mais importantes na indústria siderúrgica (IBÁ, 2015).

Grande parte do carvão utilizado nas indústrias siderúrgicas é oriundo do reflorestamento. O Brasil é um grande produtor de biomassa residual que pode utilizar este potencial para produção de carvão vegetal e proporcionar na redução dos impactos socioambientais. O uso da biomassa residual para produção de carvão vegetal é um fator relevante para a redução dos resíduos agrícolas, favorecendo, portanto na diminuição da disposição incorreta destes, e, portanto, na redução de impactos socioambientais.

No processo termoquímico para resíduos agrossilvopastoris as variáveis que influenciam nos rendimentos das frações produzidas podem estar relacionadas à temperatura de permanência, taxa de aquecimento, tempo de residência, vazão de gás inerte e tamanho de partícula (MARTINI, 2009).

O produto sólido obtido no processo de pirólise, pode ser destinado para produção de energia ou pode ganhar outras utilizações, tais como adsorção de componentes orgânicos e inorgânicos (WERLANG, 2013; SANTOS, 2011).

A mistura de compostos orgânicos na forma líquida originada no processo de pirólise é denominada líquido pirolítico que também é conhecido como, alcatrão pirolenhoso, óleo de pirólise, bio-óleo dentre outras denominações. O bio-óleo é considerado como um petróleo de origem vegetal que origina outros produtos de valor comercial (MOHAN *et al.*, 2006; BRIDGWATER, 2012). A Tabela 7, mostra os rendimentos dos produtos obtidos nos processos de pirólise.

Tabela 7 - Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes formas de pirólise de madeira (base seca)

		Líquido	Carvão	Gás
Pirólise Rápida	Temperatura de processo moderada aproximadamente a 500°C, curtos tempos de residência dos vapores.	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas aproximadamente a 400°C, longo tempos de residência (pode ser de horas ou dias).	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura aproximadamente a 900°C, longos tempos de residência.	5%	10%	85%

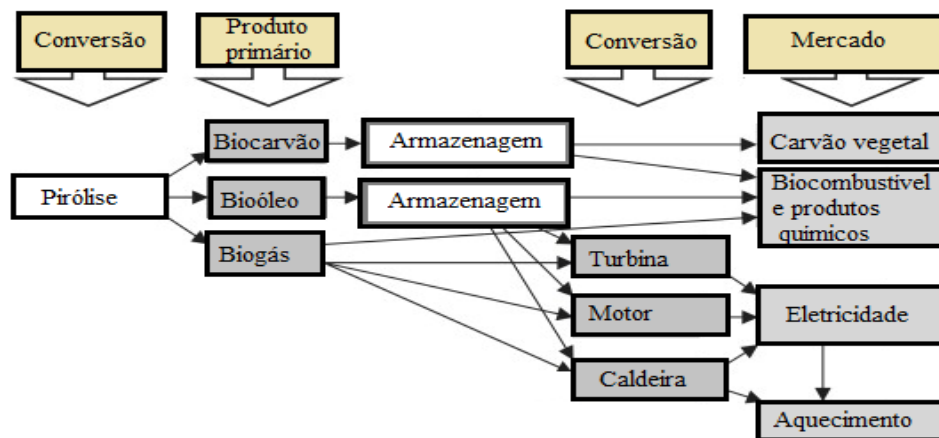
Fonte: Bridgwater (2012).

O bio-óleo é composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos oxigenados, com quantidade de taxas de oxigênio que variam de 35 a 40% e de água de 15 a 30%, sendo que esta quantidade elevada de água diminui na viscosidade do bio-óleo e o seu poder calorífico (BRIDGWATER, 2012).

A fração gasosa resultante do processo de pirólise de biomassa tem sua composição influenciada por vários fatores no processo de produção: pressão de operação do reator; escala do processo; temperatura; introdução de vapor de água e o tipo de biomassa. O gás oriundo do processo de pirólise é composto por CO, CO₂, H₂, CH₄, O₂, tendo também a produção de gases contaminantes como cinzas e compostos nitrogenados limitando a sua aplicação para produção de eletricidade. O gás de síntese (mistura de CO e H₂) pode ser utilizado em vários processos industriais como na síntese de metanol, síntese de amônia e no processo de Fischer-Tropsch para produção de gasolina e óleo diesel (ENCINAR *et al.*, 2002; FIGUEIREDO, 2009; PEDROZA, 2011; BARATA, 2014).

A pirólise de biomassa tem sido um método promissor na geração de novos produtos (carvão, óleo e gás) com grande potencial em todo o mundo. O bio-óleo é considerado um biocombustível de fácil transporte e armazenamento e que apresenta vantagens econômica e proteção ambiental. O carvão oriundo do processo de pirólise possui propriedade de remoção de metais pesados, geração de energia, geração de biocombustível e ainda pode ser utilizado na agricultura para o melhoramento do solo (BRIDGWATER, 2012; ZHANG, 2013; ZHAO, 2018). A Figura 10 mostra os produtos obtidos no processo de pirólise, bem como seus possíveis uso no mercado.

Figura 10 - Produtos de conversão térmica de biomassa



Fonte: Adaptado de BRIDGWATER (2012)

Conforme mostra a Figura 10, o bio-óleo e o biogás possuem diversas aplicações podendo ser utilizado em turbinas, motor, na geração de eletricidade, na geração de calor por meio das caldeiras e se aprimorado pode ser utilizado como matéria prima para fabricação de biocombustível e outras substâncias químicas.

As pesquisas realizadas em todo os trabalhos que estuda o processo de pirólise, possuem um objetivo comum, retratar os problemas ambientais. O processo de pirólise tem sido estudado para buscar soluções na redução do aquecimento global, na quantidade de resíduos sólidos, manutenção dos combustíveis fósseis, na obtenção de novos produtos com maior valor econômico e ambiental.

No mundo tem-se muitas pesquisas que torna os resíduos sólidos em matéria prima para obtenção de carvão, bio-óleo, gás, por meio da técnica de pirólise. Os resíduos mais utilizados são: lodo gerados nas estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, resíduo da saúde, biomassa residual, plásticos, papel, papelão, pneu dentre outros materiais.

3.6 EXPERIÊNCIAS DA PIRÓLISE DA BIOMASSA RESIDUAL DO ABACAXI

Foo e Hameed, (2012) estudaram a produção de carvão ativado da casca do abacaxi feito em forno micro-ondas. As amostras foram ativadas com KOH e K₂CO₃ e submetida a uma potência de micro-ondas de 600 W e tempo de irradiação de 6 min, depois de da ativação do carvão foi realizado o ensaio de adsorção com azul de metileno a fim de verificar o comportamento das amostras. Por fim percebeu-se que as amostras ativadas com KOH demonstraram melhor desenvolvimento da estrutura do poro.

Braga *et al.*, (2015) estudaram o potencial energético por meio da caracterização da coroa do abacaxi para aplicação em diferentes processos de conversão de energia. Foram realizados vários ensaios para determinação das características da biomassa, dentre eles a determinação dos voláteis (89,5%), densidade aparente (420,8 kg / m³) e poder calorífico (18,9 MJ / kg). Foi observado que a coroa do abacaxi possui grande potencial energético.

Fu *et al.*, (2015) estudaram as características físico-química e o potencial de adsorção do carvão vegetal oriundo dos resíduos da casca do abacaxi e pode concluir que o carvão derivado dos resíduos da casca do abacaxi é altamente eficaz na remoção de contaminantes orgânicos nas águas residuária.

Mahamad *et al.*, (2015) analisaram o uso da biomassa da indústria do abacaxi para preparação de carvão ativado. Neste estudo, o carvão ativado foi preparado a partir da pirólise (500 ° C, 1 h) de biomassa de resíduos de abacaxi (folhas, colmo, copa) impregnada com ZnCl₂. O carvão ativado resultante, com a maior área superficial, foi escolhido para estudos posteriores e caracterizado por sua área superficial, propriedades químicas de superfície, grupos funcionais, porosidade e morfologia da superfície. O carvão ativado foi avaliado quanto à eficiência de remoção do corante utilizando azul de metileno levando em consideração os seguintes parâmetros; tempo de contato, concentração inicial de azul de metileno e dosagem de adsorvente. O consumo máximo de azul de metileno pelo adsorvente foi determinado com base na adequação do ajuste de acordo com os modelos isotérmicos de adsorção de Langmuir, Freundlich e Redlich Peterson. Os dados de equilíbrio de adsorção foram melhor ajustados à isoterma de adsorção de Langmuir com R² de 0,969 e q_{máx} a 288,34 mg/g. Pode-se concluir que o adsorvente preparado usando uma proporção de 1:1 tem a maior capacidade de remoção de corante devido à sua alta área superficial (914.67 m²/g) e capacidade de adsorção a 288,34 mg/g. Assim, este estudo demonstrou o potencial do uso de biomassa de resíduos de abacaxi

como matéria-prima barata e eficiente para produzir carvão ativado para a remoção de corantes de águas residuária.

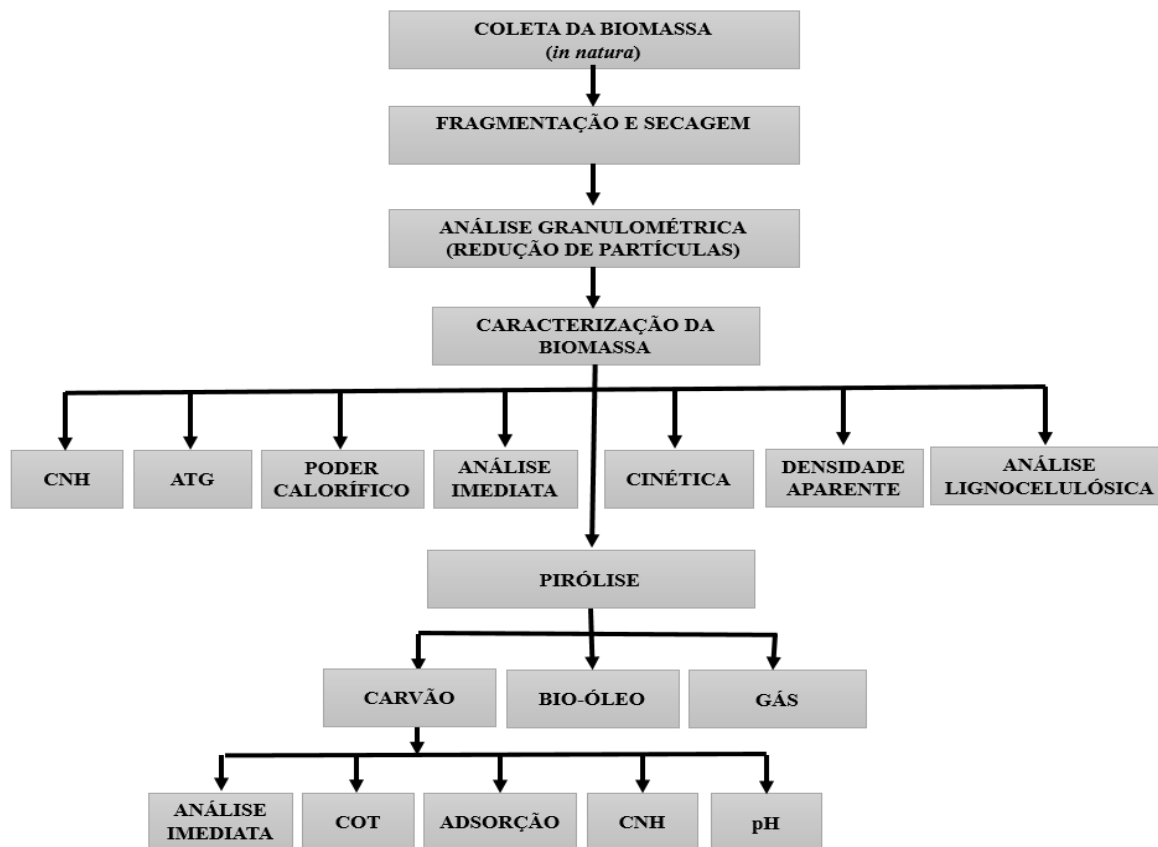
Sánchez et al., (2016) estuda a geração de energia por meio do processo de pirólise da casca das frutas tangerina e abacaxi produzidos na Colômbia. Os testes foram realizados usando um reator de pirólise de leito fixo feito de aço inoxidável 316 L com as seguintes dimensões: 54 cm de comprimento, um diâmetro interno de 3,5 cm e um diâmetro externo de 3,9 cm. Cada amostra pesava 112 g, o gás utilizado no processo foi o nitrogênio. Cinco estágios cinéticos foram observados, cada um com uma energia de ativação diferente, os métodos utilizados foram de Coats e Redfern e assumindo um modelo de primeira ordem. A maior diferença encontrada no poder calorífico do carvão obtido foi na faixa de 460 a 600 °C.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos nos laboratórios da área de meio ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas. A biomassa estudada, casca e coroa do abacaxi *in natura*, foram obtidas no setor alimentício de Palmas – TO. A biomassa estudada foi utilizada conforme a sua obtenção no comércio, o único tratamento realizado antes da secagem foi a redução em fragmentos menores. Os experimentos que não foram possíveis ser realizados nos laboratórios de meio ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, foram realizados por laboratórios terceirizados.

Todas as atividades desenvolvidas no presente trabalho, desde a aquisição, caracterização da biomassa e obtenção dos produtos no processo de pirólise em reator de leito fixo, caracterização dos finos de carvão estão apresentadas na Figura 11. O detalhamento das etapas visa esclarecer as metodologias empregadas.

Figura 11 - Fluxograma do processo metodológico para realização da pirólise



ATG - Análise Termogravimétrica; COT- Carbono Orgânico Total; CNH – Carbono, Hidrogênio e Oxigênio.

Fonte: Autora (2018).

A Tabela 8, mostra a metodologia utilizada em algumas análises para caracterização da biomassa da casca e coroa do abacaxi e do carvão oriundo dos briquetes obtidos no processo de pirólise.

Tabela 8 - Normas utilizadas na caracterização da biomassa e carvão da casca e coroa do abacaxi

Variáveis	Normas	
	Fibra	Carvão
pH	---	Norma JIS K1474
Densidade Aparente (Teor de Umidade)	Sugerido por Figueiredo, (2011) ASTM D 2415-66 (Pedroza, 2011)	--- ASTM D 2415-66 (Pedroza, 2011)
Material Volátil e Cinzas	Método ASTM D 2415-66 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009)	Método ASTM D 2415-66 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009)
Teor de Carbono Fixo	Norma ABNT NBR 829-1983	Norma ABNT NBR 829- 1983
Análise lignocelulósica	“KLASON” de acordo com Silva; Queiroz (2002)	---
Poder Calorífico	Norma NBR 8633 (ABNT, 1984)	---
Análise elementar (CNH)	Norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002)	Norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002)
Índice de Azul de Metileno	---	Sugerido por Niedersberg, 2012.

Fonte: Autora (2018).

4.1 COLETA E PREPARO DA BIOMASSA

Os resíduos são derivados do comércio alimentício no setor urbano da cidade de Palmas-TO, os quais são descartados na coleta urbana da cidade. A biomassa estudada é oriunda da casca e coroa do abacaxi (Figura 12).

Figura 12 - O abacaxizeiro e os resíduos do fruto do abacaxi, coroa e casca. a) Abacaxizeiro; b) Coroa do abacaxi; c) Casca do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

Após a coleta, a amostra foi levada para o Laboratório de Meio Ambiente e o Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética – LARSEN do IFTO para secagem, análise granulométrica, análise imediata e preparação dos briquetes para produção de carvão.

Os resíduos da casca e coroa do abacaxi, foram reduzidas em pedaços menores (Figura 13) e logo após colocados em estufa por 11 e 6 dias, respectivamente, em temperatura média de 40°C, para garantir a perda gradual e total da umidade aparente.

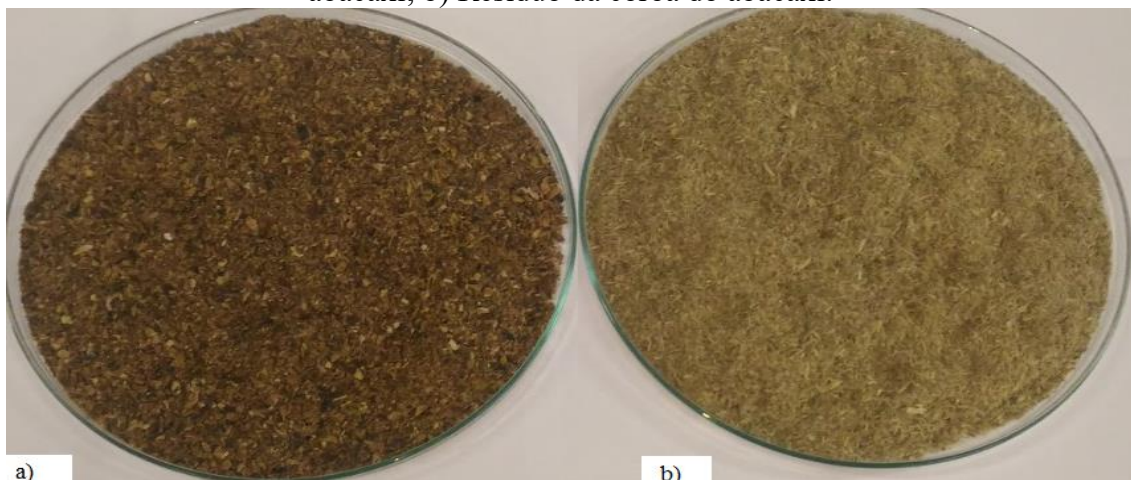
Figura 13 - Biomassa oriunda da casca e coroa do abacaxi. a) Casca do abacaxi; b) Coroa do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

Após a secagem foi realizada a trituração das biomassas e a classificação granulométrica na peneira de mesh 10, ou seja, abertura de 2,00 mm (Figura 14).

Figura 14 - Casca e coroa do abacaxi após análise granulométrica. a) Resíduo da casca do abacaxi; b) Resíduo da coroa do abacaxi.



Fonte: Autora (2018).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Para caracterização do pó da biomassa da casca e coroa do abacaxi, foram avaliados diversos parâmetros: cinética, densidade aparente, teor de umidade, teor de cinzas, material volátil, carbono fixo, teor de lignina, celulose e hemicelulose, análise termogravimétrica (ATG), e análise elementar (CNH), poder calorífico superior.

4.2.1 Cinética de Perda de Massa

A biomassa foi levada para uma estufa da marca SOLAB e modelo SL - 100 a uma temperatura média de 50°C por um período de 48 horas. Durante este período foram observados a perda de umidade e o material volátil em uma relação massa *versus* tempo. Para obtenção dos resultados foram necessários realizar em triplicata toda a análise.

Para a realização do ensaio de cinética foram colocados os cadinhos em estufa a 105°C por uma hora, em seguida colocados no dessecador para resfriar. Após o resfriamento dos cadinhos pesou-se em uma balança 1g de biomassa, desprezando o peso do cadinho, e levou a amostra para a estufa a 50°C por uma hora. Em seguida colocou-se a amostra no dessecador por 15 minutos e pesou-se novamente. Este procedimento foi realizado a cada hora até que se complete 48 horas.

4.2.2 Densidade Aparente

Após o preparo granulométrico da biomassa casca e coroa do abacaxi, foi estabelecida a densidade aparente (razão entre sua massa e volume). Sendo assim levou-se uma proveta graduada com volume de 100 mL (100cm³) em uma balança de precisão previamente tarada, modelo tecnal mark 220 classe II (Figura 15). Adicionou-se a biomassa na proveta em cinco adições sucessivas de volume da biomassa (20, 40, 60, 80 e 100 mL), pesou cada adição e em seguida foi realizado o cálculo por meio da Equação 1.

$$D = M / V \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

D = Densidade aparente (g/mL ou g/cm³);

M = Massa da biomassa (g);

V = Volume da proveta (mL ou cm³).

Figura 15 - Ensaio de densidade aparente da biomassa do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

4.2.3 Análise Imediata

4.2.3.1 Umidade

O teor de umidade das biomassas da casca e coroa do abacaxi foram determinados conforme a norma ASTM D 3173-85. Pesou-se em balança analítica uma massa de aproximadamente 1g da amostra e adicionou em um cadinho de porcelana com peso constante, pré-determinado em estufa a 105° C. Em seguida a amostra foi levada a estufa a uma temperatura de 105° C por uma hora, logo após esperou-se a amostra resfriar por 15 minutos no dessecador e pesou. Em seguida foi realizado o cálculo por meio da Equação 2.

$$\text{Umidade (\%)} = [(P_1 - P_2) / P_3] \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

P_1 = peso do cadinho com a amostra (g);

P_2 = peso do cadinho com a amostra após aquecimento à 105° C (g);

P_3 = peso da amostra (g).

4.2.3.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas da amostra do abacaxi foi determinado segundo o método utilizado por Pedroza (2011), onde uma amostra em triplicata (1g) é adicionada a um cadinho de porcelana

com peso constante. Em seguida a amostra foi levada à mufla a uma temperatura de 815° C por 30 minutos, logo após esperou-se a amostra resfriar por 1 hora no dessecador e pesou. Em seguida foi realizado o cálculo por meio da Equação 3.

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = [(P_1 - P_2) / P_3] \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

P_1 = peso do cadinho com as cinzas (g);

P_2 = peso do cadinho vazio (g);

P_3 = peso da amostra inicial (g).

4.2.3.3 Material volátil

Para obtenção de material volátil a metodologia utilizada foi de acordo com o método de Sánchez *et al.*, (2009). Pesou-se em balança analítica uma massa de aproximadamente 1g de amostra e adicionou-se em um cadinho de porcelana com peso constante a 900° C. Em seguida a amostra foi levada à mufla a uma temperatura de 900° C por 30 minutos na ausência de oxigênio. Esperou-se a amostra resfriar por 1 hora no dessecador e pesou. Em seguida foi realizado o cálculo por meio da Equação 4.

$$\text{Material volátil (\%)} = [(P_1 + P_2) - P_3 / P_2] \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

P_1 = peso do cadinho vazio (g);

P_2 = peso da amostra inicial (g);

P_3 = peso do cadinho mais o peso da amostra final (g).

4.2.3.4 Carbono fixo

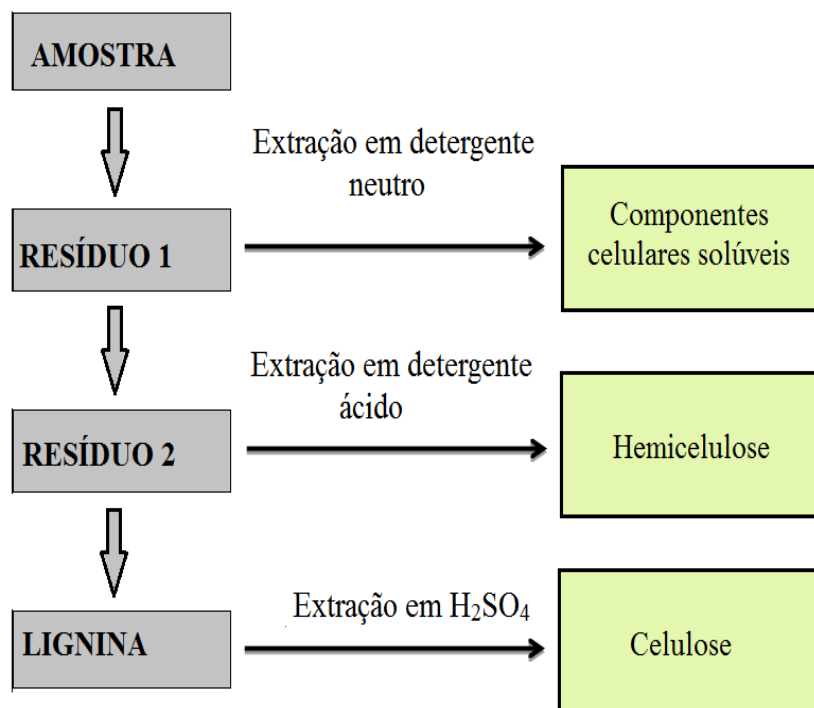
Para obtenção do teor de cinzas a metodologia utilizada foi de acordo com o método estabelecidos na ABNT NBR 829-1983, valor obtido por meio da diferença dos percentuais de umidade, teor de cinzas e material volátil. Em seguida foi realizado o cálculo por meio da Equação 5.

$$\text{Carbono Fixo (\%)} = 100 - (\% \text{ Umidade} + \% \text{ Cinzas} + \% \text{ Material volátil}) \quad (\text{Eq. 5})$$

4.2.4 Análise Lignocelulósica

A determinação dos lignocelulósico está relacionada diretamente à estrutura da fibra da biomassa principalmente à presença de lignina, celulose e hemicelulose. Foi realizado o método de KLASON para determinação das frações de celulose, hemicelulose e lignina nas amostras da casca e coroa do abacaxi. O método utilizou três etapas adotando a seguinte sequência dos solventes (detergente neutro, detergente ácido e H_2SO_4 a 72%) de acordo com a Figura 16.

Figura 16 – Método para determinação dos compostos lignocelulósico



Fonte: Pedroza, 2011.

4.2.5 Poder Calorífico Superior (PCS)

O poder calorífico foi realizado a fim de verificar a quantidade de energia liberada na queima total da biomassa.

Para realização do ensaio foi utilizado a bomba calorimétrica Parr 1341 que realizou a combustão total na presença de O_2 com uma pressão de 30 atm. O ácido benzoico foi utilizado como padrão para determinação da capacidade calorífica (C), pelo fato de se ter um valor tabelado ($6,315 \text{ cal g}^{-1}$) de seu poder calorífico.

4.2.6 Análise Elementar (CHN)

A determinação da quantidade de carbono, hidrogênio e nitrogênio das amostras de biomassa e carvão do abacaxi, casca e coroa, foram dadas por meio do equipamento da marca Perkin-Elmer, modelo 2400 Series II CHNS/O. Para determinação dos teores foi necessário 2mg de biomassa e os ensaios foram realizados e triplicata.

4.2.7 Análise Termogravimétrica (ATG)

A análise termogravimétrica da biomassa da casca e coroa do abacaxi, foi realizada a fim de verificar a energia de ativação da fibra bem como a estabilidade térmica da amostra. O ensaio foi realizado no laboratório da Universidade Federal do Cariri – CE com o equipamento Thermogravimetric Analyser da marca Shimadzu modelo TGA – 50 com taxas de aquecimento de 10 e 30 °C/min.

4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA O PROCESSO DE PIRÓLISE

Um planejamento experimental é uma ferramenta que pode ser aplicada para avaliar as influências de todos os fatores envolvidos no processo, além de definir quais são estes dados, em que quantidades e condições cada experimento deve ser realizado, buscando sempre otimizar para que se alcance condições operacionais com maior precisão estatística e menor custo.

Foi definido um procedimento experimental a fim de determinar os rendimentos dos produtos obtidos no processo de pirólise, carvão e bio-óleo, com relação aos fatores estudados.

4.3.1 Planejamento Experimental

O delineamento utilizado foi um fracionário de 2^{4-1} , obtendo uma quantidade de 8 experimentos.

Os efeitos aplicados foram: Temperatura (° C); Taxa de aquecimento; Vazão de gás (mL/ min.) e Tempo de pirólise conforme podem ser observados na Tabela 9. O rendimento do carvão e bio-óleo serão analisados a partir dos percentuais obtidos nos experimentos realizados de acordo com os dados da Tabela 10. A análise de interferência dos fatores foi obtida por meio do programa na geração do diagrama de Pareto.

Tabela 9 – Fatores, efeitos e níveis empregados no planejamento experimental 2^{4-1}

Fatores	Efeitos	Níveis		
		Mínimo (-1)	Ponto Central (0)	Máximo (+1)
1	Temperatura final do processo (° C)	500	525	550
2	Taxa de aquecimento (°C/min)	10	15	20
3	Vazão de gás inerte (mL /min)	1	2,5	4
4	Tempo de pirólise (min.)	30	45	60

Fonte: Autora (2018).

Tabela 10 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2^{4-1}

Ordem	Fatores / Níveis Codificados				Fatores / Níveis Descodificados			
	1	2	3	4	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Vazão de Gás (cm ³ /min)	Tempo de pirólise (min.)
7	- 1	+1	+1	- 1	500	20	4	30
6	+1	- 1	+1	- 1	550	10	4	30
5	-1	- 1	+1	+1	500	10	4	60
1	- 1	- 1	- 1	- 1	500	10	1	30
3	- 1	+1	- 1	+1	500	20	1	60
2	+1	- 1	- 1	+1	550	10	1	60
4	+1	+1	- 1	- 1	550	20	1	30
8	+1	+1	+1	+1	550	20	4	60
9	0	0	0	0	525	15	2,5	45
10	0	0	0	0	525	15	2,5	45
11	0	0	0	0	525	15	2,5	45

Fonte: Autora (2018).

Após a realização dos ensaios de pirólise foi realizado o balanço de massa. Para o balanceamento e determinação do rendimento dos produtos é necessário esperar o resfriamento do reator para coleta e pesagem dos produtos obtidos na pirólise, carvão e bio-óleo.

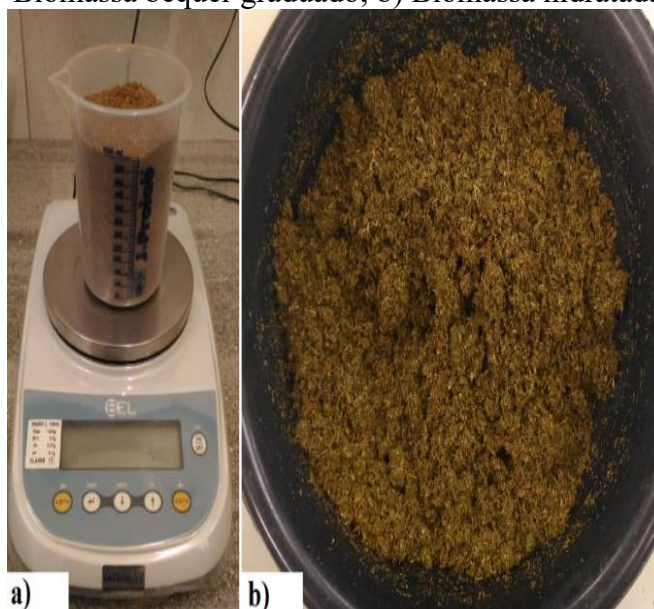
4.4 ELABORAÇÃO DE BRIQUETES DA BIOMASSA E PRODUÇÃO DO CARVÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI

A elaboração dos briquetes foi realizada após a classificação granulométrica e com a biomassa úmida.

4.4.1 Produção de Briquetes da Biomassa

Para elaboração dos briquetes foi necessário pesar em um béquer graduado com volume igual a 600 mL uma quantidade de biomassa seca. Logo após adicionou um volume de água destilada para hidratação e união entre as partículas a fim de facilitar a prensagem dos briquetes. A prensagem foi realizada em um tubo de PVC de diâmetro igual a 32 mm e comprimento de 25 cm (Figura 17), depois de produzidos o briquetes foram levados a estufa em uma temperatura de 40° C por 48h para garantir a secagem e retirada da umidade.

Figura 17 – Etapas realizadas para o preparo dos briquetes da biomassa do abacaxi. a) Biomassa béquer graduado; b) Biomassa hidratada



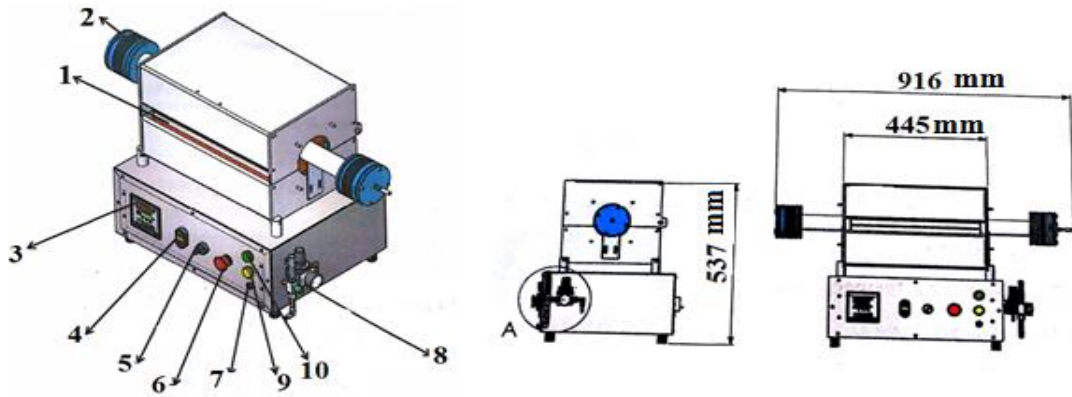
Fonte: Autora (2018).

4.4.2 Produção de Carvão

Para obtenção dos produtos foi utilizado um reator de leito fixo bipartido de aço inox, com dimensões de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm de marca FLYEVER do modelo FE50RPN, linha 05/50 com micro controlador acoplado em um forno tubular 1200°C 1 ZONA (Figura 18). Após o preparo e secagem da biomassa os briquetes foram levados a um reator de leito fixo para produção de carvão e bio-óleo (Figura 19).

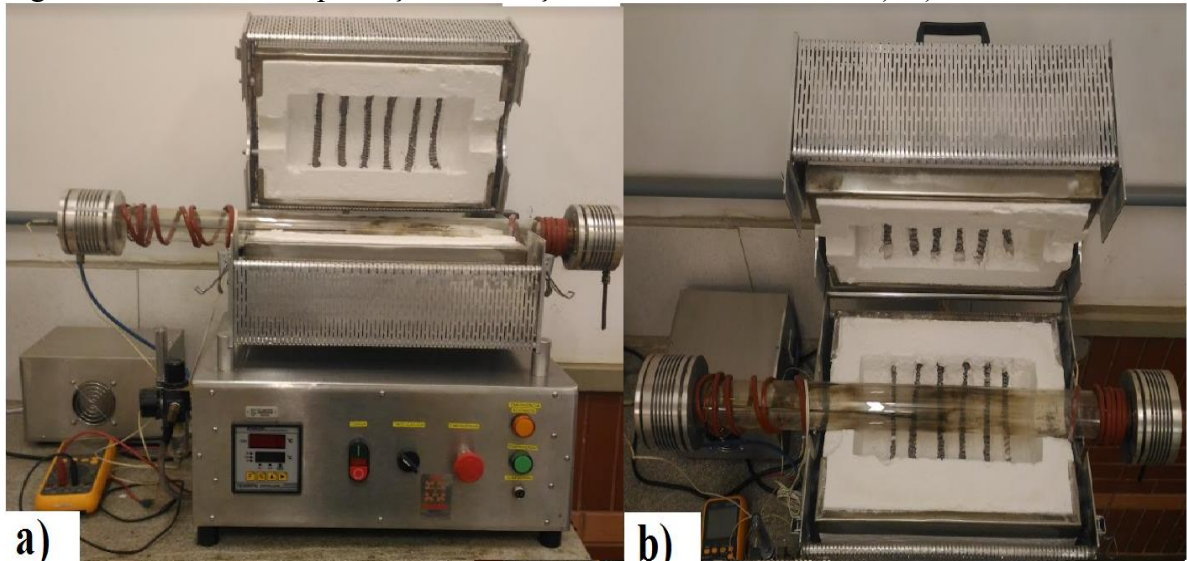
O gás de arraste utilizado no processo de pirólise foi o gás de nitrogênio que passa por um tubo - retorta, local onde a biomassa fica inserida. Este gás transporta os vapores para o sistema de condensação para fora do leito da reação, obtendo os produtos gás e bio-óleo.

Figura 18 – Detalhes do reator de leito fixo. 1) Câmara de queima; 2) Retorta (Flange de alumínio + tubo de mulita ou quartzo Ø50x800mm); 3) Controlador de temperatura; 4) Botão de carga; 5) Chave “desliga/liga” forno; 6) Botão de emergência; 7) Comunicação serial (opcional); 8) Regulador de fluxo, 9) Led “botão de emergência acionado”; 10) Led “forno em funcionamento”



Fonte: Manual do aparelho.

Figura 19 – Detalhes da produção e obtenção do bio-óleo e carvão. a), b) Reator de leito fixo



Fonte: Autora (2018).

4.4.3 Rendimento dos Produtos

Os rendimentos obtidos no processo de pirólise foram calculados por meio da razão mássica do carvão e bio-óleo da casca e coroa do abacaxi e o peso da biomassa processada no reator de leito fixo. Todos os rendimentos foram determinados em percentagem conforme Equação 6.

$$R (\%) = (M_p / M_b)] \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

R = rendimento do produto (%);

M_p = massa do produto obtido (g); e

M_b = massa da biomassa no reator (g).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO

Para caracterização dos finos de carvão obtido no processo de pirólise, as amostras foram submetidas as análises de densidade aparente, análise imediata (teor de umidade, teor de cinzas, material volátil, teor de carbono fixo), carbono orgânico total (COT), análise elementar (CNH) e índice de azul de metileno.

4.5.1 Densidade Aparente

A relação entre o volume e o peso para determinar a densidade do carvão seguiu a mesma metodologia empregada no item 4.2.2 que determina a densidade aparente da biomassa da casca e coroa do abacaxi.

4.5.2 Análise Imediata

A análise imediata consiste em determinar a porcentagem do teor de umidade, teor de cinza, material volátil e o teor de carbono fixo para as amostras de carvão obtidos no processo de pirólise. O ensaio foi realizado no laboratório do IFTO e a metodologia empregada para a obtenção dos valores seguiu os mesmos parâmetros descrito para biomassa no item 4.2.3 os ensaios foram também realizados em triplicatas, obtendo-se a média de valores.

4.5.3 Análise Elementar (CHN)

A análise elementar forneceu os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio dos finos de carvão. A metodologia utilizada foi a mesma utilizada para a análise elementar da biomassa descrita no item 4.2.6 que determina todos estes teores para a biomassa da casca e coroa do abacaxi.

4.5.4 Carbono Orgânico Total (COT)

A análise de Carbono Orgânico Total (COT), foi realizada no laboratório de recursos hídricos da Universidade de Ribeirão Preto-UNAERP. O aparelho utilizado foi o SSM-5000 A marca SHIMADZU, que possui um forno acoplado e um detector de infravermelho. Com os valores de carbono orgânico total e o carbono total (CT) é possível encontrar o carbono inorgânico (CI) por meio de diferença, conforme expresso na Equação 7.

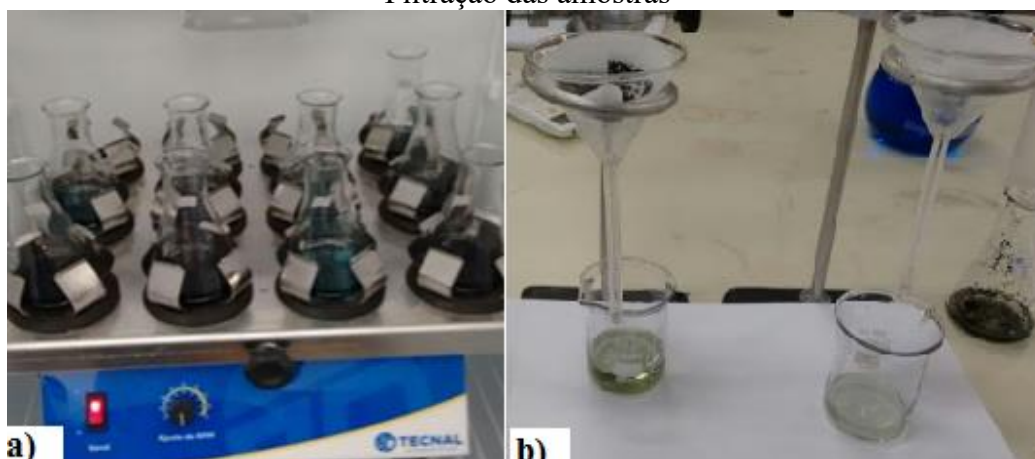
$$CT = CO + CI \quad (\text{Eq. 7})$$

4.5.5 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno

O ensaio de azul de metileno foi realizado para verificar o potencial de adsorção que o carvão da casca e coroa do abacaxi tem em relação ao corante em estudo. O ensaio foi realizado no laboratório de físico-química do do Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Tocantins – campus Palmas.

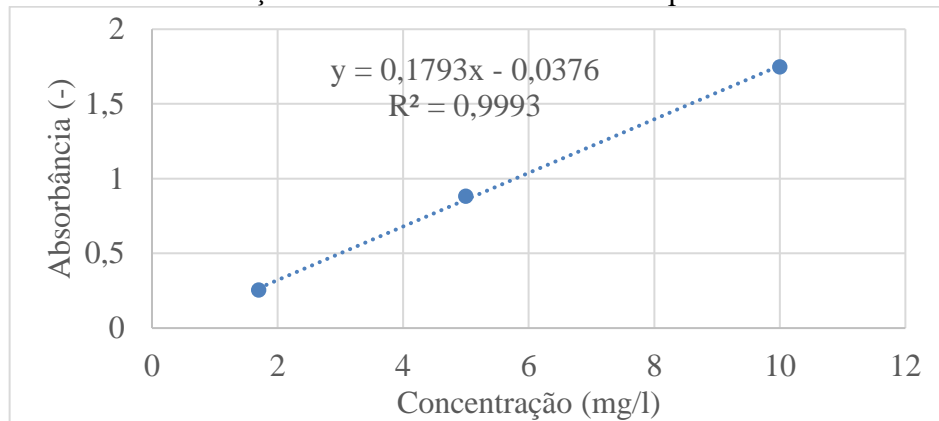
Para ensaio de adsorção, o carvão foi lavado com água destilada e seco em estufa por 1 hora a 105 °C. Em seguida pesou-se 0,2 g, 0,4 g e 0,6 g de material adsorvente e colocou em contato com 30 ml de solução de azul de metileno em uma concentração de 10 mg/L. Em seguida as amostras foram levadas a uma mesa agitadora por 10 minutos com velocidade de 50 rpm a uma temperatura de 30 °C (Figura 20 - a). Após a adsorção as amostras foram filtradas (Figura 20 - b) e determinado a absorbância das soluções a 660 nm.

Figura 20 – Ensaio de adsorção azul de metileno. a) Amostras em mesa agitadora; b) Filtração das amostras



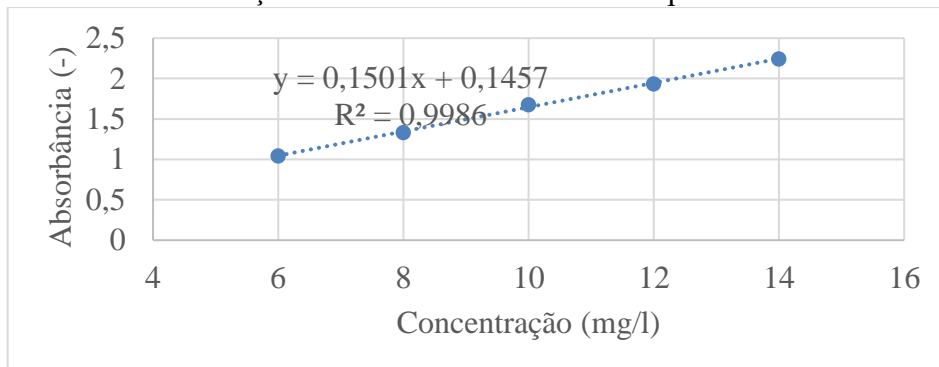
Fonte: Autora (2018).

Figura 21 – Curva de calibração do corante azul de metileno para casca do abacaxi (660 nm)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 22 – Curva de calibração do corante azul de metileno para coroa do abacaxi (660 nm)



Fonte: Autora (2018).

Para obtenção dos valores do ensaio de adsorção é necessário realizar a curva de calibração do aparelho (Figura 21 e Figura 22) que relaciona a concentração do corante azul de metileno e a absorbância lida no espectrofotômetro e a estrutura química do corante azul de metileno para logo após calcular concentração final (CF), concentração final média (CFM), concentração adsorvida média (CAM), quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (QS) e eficiência de remoção (EF), conforme expresso nas Equações de 8 até 12:

$$CF1 = (0,0376 + y) / 0,1793 \text{ e } CF2 = (0,1457 - y) / 0,1501 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$CFM = \sum CF / 3 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$CAM = CI - CFM \quad (\text{Eq. 10})$$

$$QS = (CAM \times S) / QAm \quad (\text{Eq. 11})$$

$$EF = ((CI - CFM) / CI) \times 100 \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: Y = Valores da absorbância lida no espectrofotômetro; CI = Concentração inicial (10 mg L⁻¹); S = Solução (0,03L); QAm = Quantidade de amostra (g).

4.5.6 Determinação do pH

O ensaio para determinação do pH do carvão da casca e coroa do abacaxi foi determinada conforme a norma JIS K1474. Foi necessário um elermeyer de 200 mL, 1g de carvão e 100 mL de água deionizada. Aqueceu-se a mistura ao ponto de ebulição por 5 minutos, resfriando a temperatura ambiente, logo após adicionou-se 100 mL de água deionizada e mediu o pH com um pH-metro de marca Orion Star, modelo A201.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DA CASCA E COROA DO ABACAXI

Os resultados obtidos para casca e coroa do abacaxi, mediante os ensaios, estão descritos abaixo por meio de tabelas e discursões. Bem como a análise dos dados e comparações com outras biomassas presentes na literatura.

5.1.1 Densidade Aparente

Os valores da densidade aparente são de 0,469 e 0,370 g/mL, para casca e coroa do abacaxi respectivamente, foram então determinadas a partir da média dos valores encontrados (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 - Análise da densidade da biomassa da casca do abacaxi

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Resultado (g/mL)
1	9,37	20	0,469
2	18,14	40	0,454
3	28,43	60	0,474
4	38,00	80	0,475
5	47,30	100	0,473
Média	-	-	0,469
Desvio Padrão	-	-	0,009

Fonte: Autora (2018).

Tabela 12 - Análise da densidade da biomassa da coroa do abacaxi

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Resultado (g/mL)
1	7,36	20	0,368
2	14,48	40	0,362
3	22,32	60	0,372
4	29,86	80	0,373
5	37,26	100	0,373
Média	-	-	0,370
Desvio Padrão	-	-	0,005

Fonte: Autora (2018).

A Tabela 13 faz uma comparação entre a densidade aparente da biomassa da casca e coroa do abacaxi em relação a outras biomassas agroindustriais.

Tabela 13 – Densidade de algumas biomassas agroindustriais

Resíduo	Densidade (g/mL)	Referência
Bagaço de laranja	0,660	De Medeiros (2015)
Fibra de coco	0,158	Paz (2017)
Casca do abacaxi	0,469	Autora (2018)
Coroa do abacaxi	0,370	Autora (2018)

Fonte: Autora (2018).

A densidade está ligada diretamente a quantidade de volume vazio que existe nos poros da biomassa, além de outras propriedades físicas e mecânicas envolvidas. Quanto maior a densidade da biomassa, maior é o potencial energético do briquete. O valor da densidade aparente do material de origem influencia diretamente no produto final, uma vez que quanto menor a densidade aparente deste, maior a densidade do produto final após a compactação (FURTADO, 2010; TEIXEIRA, 2010).

Por meio da Tabela 13 é possível verificar que a densidade do casca e coroa do abacaxi possuem densidade superior à dos outros autores, ficando abaixo somente para a biomassa do bagaço de laranja, apontando com um potencial para produção de briquete.

5.1.2 Análise Imediata

A composição de uma biomassa se difere da do carvão vegetal, normalmente encontra-se na biomassa um alto teor de umidade e compostos voláteis e menores valores de cinzas e carbono fixo, podendo ter estes valores modificados de acordo com a sua origem (VASSILEV *et al.*, 2010).

Para obtenção dos resultados das análises imediata da biomassa da casca e coroa do abacaxi, foram realizados três ensaios em triplicatas. A umidade presente na biomassa influencia diretamente no consumo de energia para secagem, produção do carvão, além de ser inversamente proporcional com o rendimento de bio-óleo produzido no processo de pirólise. Uma biomassa com baixo teor de umidade diminui os riscos de entupimento do reator (FIGUEIREDO, 2011; PEDROZA *et al.*, 2014). Portanto, um alto teor de umidade prejudica no processo de obtenção de novos produtos como o carvão, pois quanto maior o teor de umidade presente em uma biomassa, mais energia será necessário para a retirada da mesma.

Os dados da análise imediata foram obtidos por meio da média dos ensaios realizados em triplicatas, portanto, podemos analisar na Tabela 14 os teores de umidade, cinzas, material volátil e carbono fixo.

Tabela 14 - Análise imediata da biomassa da casca e coroa do abacaxi

Biomassa do Abacaxi	Análise Imediata (%)				Referência
	Umidade	Cinzas	Material Volátil	Carbono Fixo	
Fibra da Casca	9,92	2,03	-	-	Da Costa <i>et. al.</i> (2008)
Fibra da Casca	9,93	3,45	-	-	Fonseca <i>et. al.</i> (2013)
Fibra da Casca	1,208	2,03	-	-	Alexandre <i>et. al.</i> (2015)
Fibra da Casca	5,64	4,62	88,94	0,79	Autora (2018)
Fibra da Coroa	1,56	3,96	-	-	Fonseca <i>et. al.</i> (2013)
Fibra da Coroa	1,29	-	-	-	Alexandre <i>et. al.</i> (2015)
Fibra da Coroa	3,64	6,92	88,16	1,26	Autora (2018)

Fonte: Autora (2018).

Os teores de umidade obtidos (Tabela 14), mostra que a casca e a coroa do abacaxi possuem umidade abaixo de 10%, o que é considerado ideal para combustão da biomassa, proporcionando a geração de energia, pois quanto menor a umidade maior será o poder calorífico do material e menor a quantidade de energia necessário para retirada da umidade presente na biomassa (GARCÍA, 2012).

O poder calorífico de uma biomassa está inversamente proporcional ao teor de cinzas, pois quanto maior o teor de cinzas menor o poder calorífico.

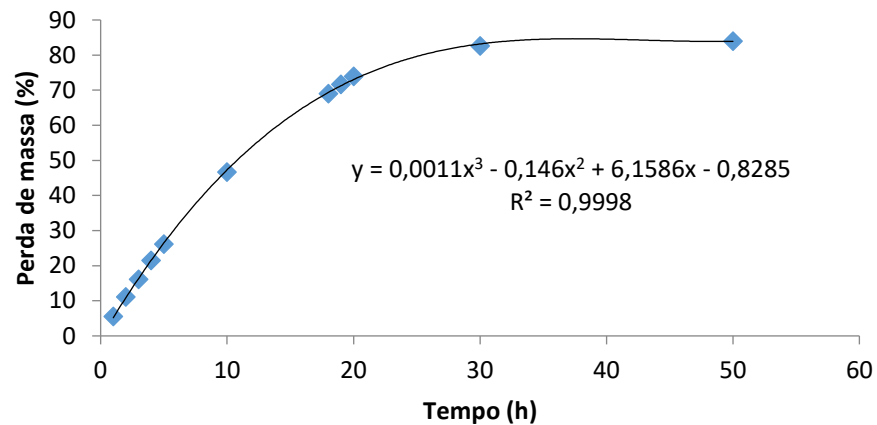
O teor de cinzas elevado apresentado na Tabela 14, pode acarretar em problemas quanto a manutenção dos sistemas, além de afetar no processo de combustão, uma vez que as cinzas representam parte da biomassa que resta após a queima (PEREIRA, 2014).

O teor de materiais voláteis presentes em uma biomassa está relacionado a quantidade de matérias orgânicas presentes.

5.1.3 Cinética de Perda de Massa

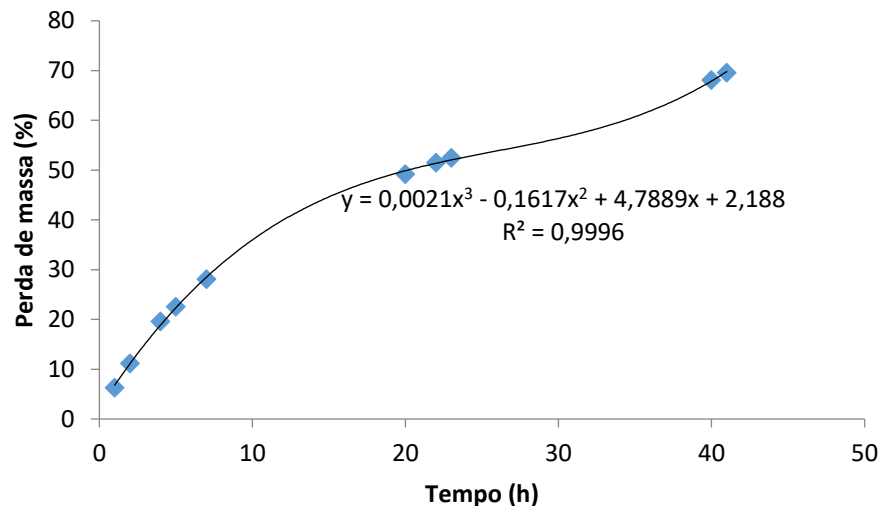
A cinética de perda de massa da casca e coroa do abacaxi pode ser analisada por meio das Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Cinética de perda de massa da casca do abacaxi a 50°C



Fonte: Autora (2018).

Figura 24 – Cinética de perda de massa da coroa do abacaxi a 50°C



Fonte: Autora (2018).

A decomposição térmica de uma biomassa pode ser analisada pela cinética, técnica para determinação e caracterização das reações de decomposição térmica de materiais orgânicos. O procedimento realizado determinou a relação entre a taxa de perda de massa em função da temperatura e tempo, mostrando a quantidade de água perdida pela biomassa em um dado período de tempo.

A cinética da casca do abacaxi (Figura 23) mostra que durante as dez primeiras horas de experimento cerca de 50% da massa inicial da casca do abacaxi já havia sido perdida e após cinquenta horas obteve-se menos de 30% em relação a matéria inicial.

Por meio da cinética da coroa do abacaxi (Figura 24) é possível perceber a perda de massa do material a 50°C. Durante as primeiras dez horas de ensaio o material perdeu cerca de

30% de massa e prosseguiu com uma conduta inconstante até ficar com pouco mais do que 30% da massa inicial após quarenta horas de ensaio.

A redução do volume de água da biomassa é um fator essencial para a realização da pirólise, pois reduz a quantidade de energia de ativação das reações que ocorrem durante o processo. Os comportamentos entre as duas biomassas são bastante diferentes como pode ser observado nas Figuras 23 e 24.

5.1.4 Poder Calorífico Superior

A Tabela 15 faz a comparação entre o poder calorífico superior encontrado neste trabalho e de outros autores.

Tabela 15 - Poder calorífico de algumas biomassas agroindustriais

Resíduo	Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	Referência
Caroço de açaí	18,84	Rodrigues (2002)
Casca de cacau	10,46	Rodrigues (2002)
Palha de cana-de-açúcar	16,42	Ferreira (2012)
Tegumento de manga	18,58	Andrade (2015)
Casca do abacaxi	17,77	Autora (2017)
Coroa do abacaxi	17,59	Autora (2017)

Fonte: Autora (2018).

O poder calorífico superior é uma das principais características que as biomassas vegetais possuem para avaliação da viabilidade do seu uso na geração de energia. Segundo Bizzo (2003), os elementos que têm maior influência no valor do poder calorífico são o carbono e o hidrogênio. Conforme os valores apresentados a biomassa da casca e coroa do abacaxi possuem valores próximos ao encontrado na literatura.

5.1.5 Análise Elementar (CHN)

Conforme Macedo (2012), a biomassa proveniente dos resíduos agrícolas pode possuir uma composição elementar com grandes variações por conta das cinzas que se formam e influenciam diretamente, além do alto teor de hemicelulose em sua constituição.

A Tabela 16 mostra os valores de carbono, nitrogênio e oxigênio presentes em algumas biomassas e traz a comparação em relação a biomassa da casca e coroa do abacaxi.

Tabela 16 - Análise Elementar da Biomassa

Biomassa	C (%)	N (%)	H (%)	S/O * (%)	Referência
Folha do abacaxi	42,91	7,19	-	-	Santos (2013)
Bambu	44,25	0,45	5,47	42,66	Mena (2014)
Palha de Carnaúba	40,40	1,72	5,61	-	Tavares (2014)
Bagaço cana de açúcar	42,09	0,64	5,31		Arantes (2014)
Casca do abacaxi	40,87	0,83	6,07	52,23	Autora (2018)
Coroa do abacaxi	40,60	1,89	5,81	51,70	Autora (2018)

*Por diferença.

Fonte: Autora (2018).

O teor de carbono está relacionado ao poder calorífico, portanto quanto maior o teor de carbono em um elemento maior o seu potencial energético. A análise elementar além de fornecer os elementos citados na tabela abaixo, também fornece a proporção entre oxigênio e hidrogênio em relação ao carbono. Quando se tem valores elevados nesta proporção o combustível tende a ter seu potencial energético reduzido, entretanto para uma maior combustão na liberação de energia pode se dar devido altos teores de carbono e hidrogênio (MCKENDRY, 2002; RENDEIRO, 2008; BORGES, 2008).

Os valores encontrados na Tabela 16 para os teores de carbono (C) e hidrogênio (H) em torno de 40% e 5% respectivamente para casca e coroa do abacaxi, representam que possuem grande potencial energético, apresentando valores próximos a de outras biomassas encontrado na literatura.

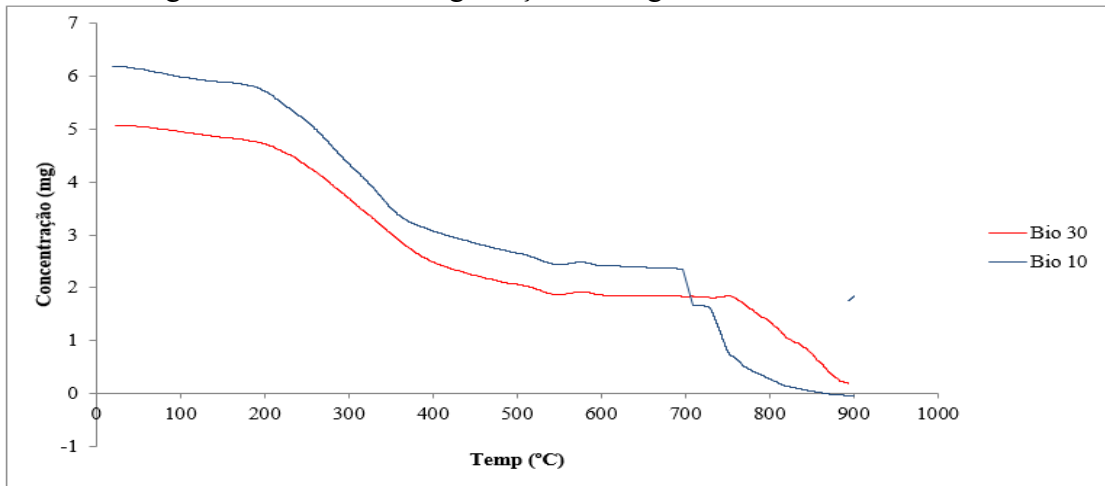
As frações dos componentes químicos que constituem uma biomassa (no presente trabalho, os elementos são C, H, N e O, sendo que o oxigênio é determinado pela diferença) são fornecidas pela análise elementar. Por meio da Tabela 16 é possível verificar que os valores encontrados na análise elementar da biomassa da casca e coroa do abacaxi, estão próximos aos valores encontrados por diversos autores da literatura.

Para a produção de bioenergia é necessário que a biomassa apresente altos teores de carbono e hidrogênio e baixos teores de oxigênio, visto que os componentes elementares de uma biomassa esta correlacionado ao poder calorífico (PROTÁSIO *et al.*, 2011).

5.1.6 Análise Termogravimétrica (ATG)

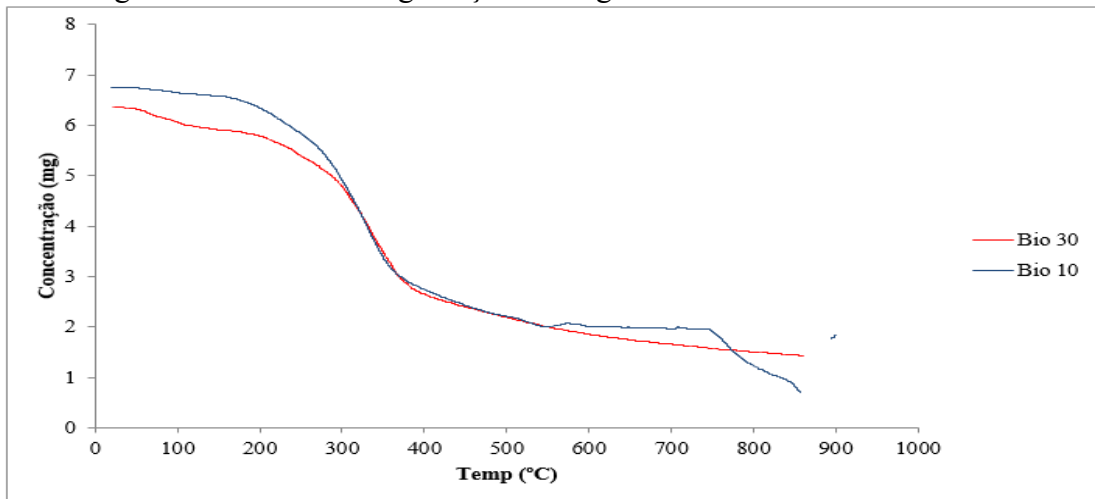
As Figuras 25 e 26 apresentam os resultados da análise termogravimétrica (ATG) usada para determinar a degradação térmica da biomassa da casca e coroa do abacaxi. As amostras foram submetidas a uma taxa de aquecimento de 10 e 30°C/min para obtenção da curva.

Figura 25 – Curva de degradação termogravimétrica da casca do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

Figura 26 – Curva de degradação termogravimétrica da coroa do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

A estrutura das partículas, tamanho e a homogeneidade da biomassa, interferem na qualidade de combustão, quanto menor o tamanho da partícula da biomassa maior a área de contato, bem como, quanto mais homogêneo for a granulometria mais uniforme será o processo de queima (FERNANDES, 2017).

A diferença entre as temperaturas de degradação em biomassa lignocelulósica de estrutura diferente pode ser conferida devido as diferentes composições químicas de cada matéria prima (RAMBO, 2015).

Percebe-se que existe uma pequena diferença entre as curvas em função da taxa de aquecimento. As análises termogravimétricas apontam que os polímeros se degradam em diferentes faixas, podendo se sobrepor. A faixa de temperatura entre 250 a 300°C ocorre a decomposição da hemicelulose, enquanto a da celulose encontra-se entre a faixa de 350 a 400°C, sendo que a lignina é encontrada em ambas as misturas (WILD *et al.*, 2009).

As curvas de ATG da casca e coroa do abacaxi tem um pequeno declínio entre as faixas de 20 a 180°C, caracterizando uma perda da umidade neste intervalo. A segunda etapa de perda de massa encontra-se entre as faixas de 280 a 560°C, ocorrendo a degradação da celulose e hemicelulose, podendo ter uma perda de massa de até 65%. A degradação da lignina encontra-se desde a temperatura de 200 a 600°C, onde também é liberada a fração de material voláteis além de formar carbono fixo. Entretanto alguns autores concluíram por meio de estudo da literatura que entre 200 a 400°C é a temperatura de formação do maior teor de materiais voláteis e que em temperatura superior a 400°C ocorre o aparecimento de resíduos carbonáceos (carbono fixo) (RESENDE, 2003; NASCIMENTO, 2012; SEYE, 2018).

5.1.6 Análise Lignocelulósica

A Tabela 17 mostra os dados da composição química (lignina, celulose e hemicelulose) obtido neste trabalho.

Tabela 17– Composição química da biomassa da casca e coroa do abacaxi

Biomassa	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Autor
Folha de abacaxi	27,53	37,93	23,90	Santos (2013)
Bagaço de abacaxi	15,1	31,69	38,18	Silva (2011)
Casca	12,85	24,32	12,55	Autora (2018)
Coroa	12,55	43,12	19,15	Autora (2018)

Fonte: Autora (2018).

A determinação de cada composto químico da biomassa é importante devido a sua relação com o produto final obtido no processo de pirólise.

A composição da biomassa dar-se por meio da celulose, hemicelulose e lignina. Podendo considerar a celulose como o principal constituinte da biomassa, a hemicelulose como segundo

maior constituinte e a lignina encontra-se presente com a finalidade de agregar as fibras, bem como proporcionar rigidez e resistência às plantas. No processo de pirólise a hemicelulose é a primeira a sofrer a degradação, seguida a celulose e por último a lignina que é o componente que têm maior resistência a decomposição térmica devido a sua estrutura aromática (SILVA, 2012; MENA, 2014).

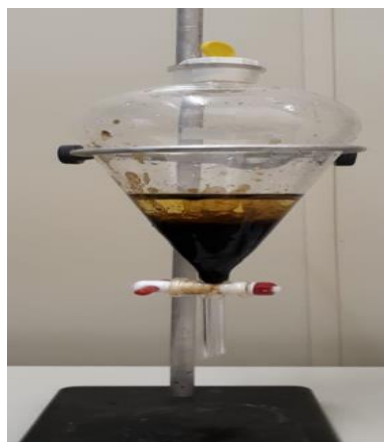
A constituição química da biomassa influencia diretamente no rendimento energético. Os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam de acordo com o tipo de biomassa, bem como o teor de lignina está relacionado com a rigidez a resistência, proporciona o aumento no valor do poder calorífico, pois, quanto maior o teor de carbono, mais elevada será o equilíbrio térmico e influenciará diretamente na qualidade e rendimento do carvão (SILVA, 2014).

Toda a composição inicial da biomassa, em sua grande parte serve como parâmetro para obtenção das frações dos produtos obtidos, sendo que a lignina é transformada na estrutura que interfere diretamente no rendimento do carvão, pouco contribui para a geração de voláteis e influencia no aumento do poder calorífico e na diminuição da temperatura de ignição do combustível. Já a celulose e hemicelulose é responsável pelo material volatizado da biomassa (MENA, 2014; ANDRADE *et al.*, 2015).

5.2 RENDIMENTOS DO PROCESSO DE PIRÓLISE

Na Figura 27 observa-se o bio-óleo derivado do resíduo do abacaxi.

Figura 27 - Bio-óleo derivado do resíduo do abacaxi.



Fonte: Autora (2018).

A Figura 27 mostra o bio-óleo dividido em frações sendo que, a fração amarela é composto por água e extrato e a fração escura é o bio-óleo e o solvente. O bio-óleo obtido por meio do processo foi coletado e armazenado para futuras pesquisas.

Os rendimentos dos produtos obtidos no processo de pirólise em reator de leito fixo da casca e da coroa do abacaxi estão expressos nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Rendimento do carvão e bio-óleo obtido no processo de pirólise da casca do abacaxi

Ensaio	Parâmetros				Rendimentos (%)	
	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Vazão de Gás (cm ³ /min)	Tempo de pirólise (min.)	Carvão	Bio-óleo
7	500	20	4	30	25,46	44,86
6	550	10	4	30	25,42	39,78
5	500	10	4	60	23,18	48,34
1	500	10	1	30	33,29	35,51
3	500	20	1	60	32,07	33,60
2	550	10	1	60	25,21	44,93
4	550	20	1	30	30,44	41,29
8	550	20	4	60	27,72	30,73
9	525	15	2,5	45	33,97	36,37
10	525	15	2,5	45	32,35	33,68
11	525	15	2,5	45	33,16	33,16

Fonte: Autora (2018).

Tabela 19 - Rendimento do carvão e bio-óleo obtido no processo de pirólise da coroa do abacaxi

Ensaio	Parâmetros				Rendimentos (%)	
	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Vazão de Gás (cm ³ /min)	Tempo de pirólise (min.)	Carvão	Bio-óleo
7	500	20	4	30	26,00	33,91
6	550	10	4	30	43,26	26,59
5	500	10	4	60	31,37	27,64
1	500	10	1	30	33,39	31,78
3	500	20	1	60	32,19	28,28
2	550	10	1	60	30,94	30,97
4	550	20	1	30	30,71	34,96
8	550	20	4	60	29,99	26,61
9	525	15	2,5	45	30,50	32,23
10	525	15	2,5	45	30,05	30,17
11	525	15	2,5	45	30,28	31,20

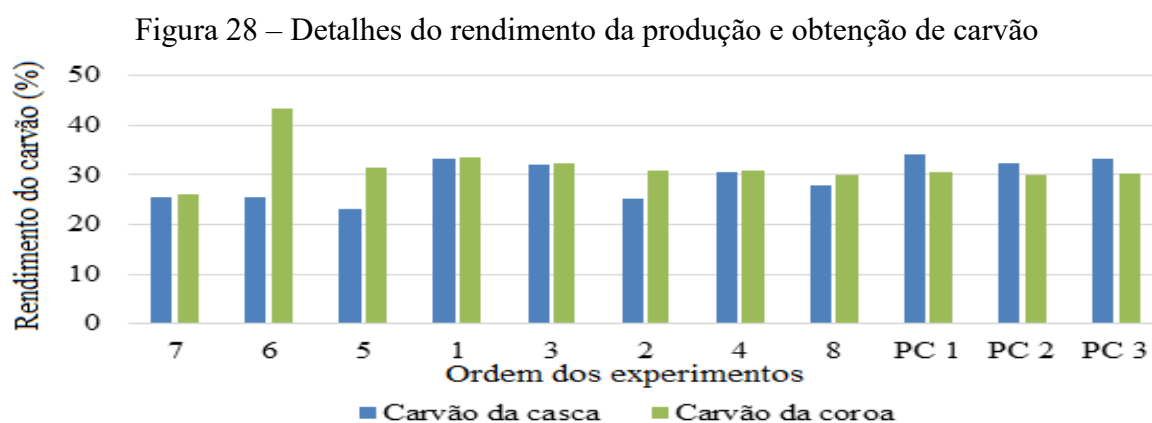
Fonte: Autora (2018).

Após o processo de pirólise, foi determinado o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, do líquido pirolenhoso e, por diferença, de gases não condensáveis.

O rendimento máximo do carvão e do bio-óleo da biomassa da casca do abacaxi estão expressos em porcentagem conforme pode ser verificado na Tabela 18, o ensaio que apresentou melhor rendimento em sólidos com 33,97% foi com as condições do ponto central, com valores de temperatura, taxa de aquecimento, vazão de gás e tempo nos valores médios. Já para o bio-óleo o melhor rendimento foi obtido no ensaio de número 5 com 48,34%, nas condições de temperatura a 500°C, taxa de aquecimento de 10°C/min., vazão de gás de 4 cm³/min e tempo de 60 minutos.

Por meio da Tabela 19, pode-se analisar os melhores rendimentos obtidos no processo de pirólise da coroa do abacaxi. O ensaio 6 foi o que apresentou um melhor rendimento de carvão, com 43,26%, os parâmetros que foram levados em consideração para a realização do ensaio foram de temperatura a 550 °C, taxa de aquecimento de 10 °C/min., vazão de gás de 4 cm³/min e tempo de 30 minutos. Para o bio-óleo o melhor rendimento foi encontrado no ensaio de número 4, com 34,96 % de rendimento as condições que foram adotadas foram de temperatura a 550 °C, taxa de aquecimento de 20 °C/min., vazão de gás de 1 cm³/min e tempo de 30 minutos.

A Figura 28 faz uma comparação entre o rendimento do carvão da casca e da coroa do abacaxi.



Onde = PC – Ponto central.

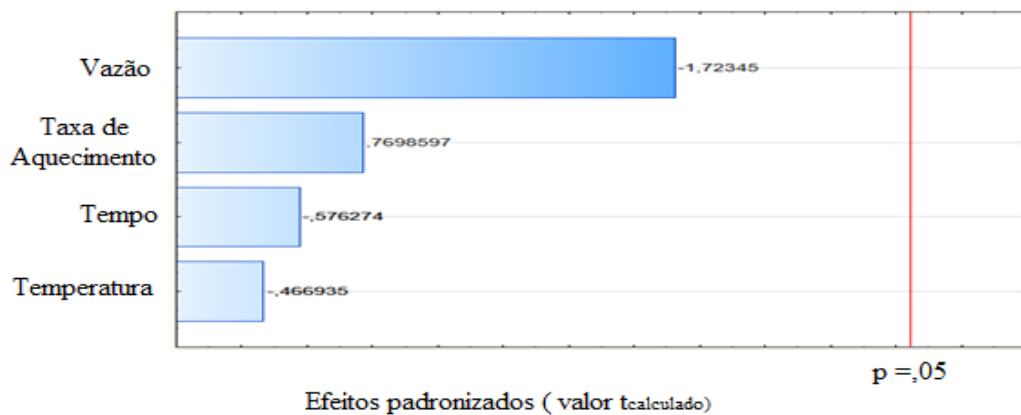
Fonte: Autora (2018).

Analisando a Figura 28 é possível observar que os rendimentos de carvão tanto da casca quanto da coroa foram bem próximos um do outro. Porém para a coroa é possível perceber que há um número maior de experimentos em que seu rendimento se sobressai comparado com a casca. O que pode ter sido influenciado devido ao próprio tipo de biomassa, devido terem

características diferentes uma da outra. Bem como as o próprio processo de produção para obtenção do carvão, pode ter proporcionado esta diferença entre os produtos obtidos no processo de pirólise, tais como a temperatura que influencia diretamente no tipo de produto obtido, conforme já mencionado neste próprio trabalho. Dependendo do tipo de produto desejado a obter é necessário trabalhar em cima de todos os fatores que englobam o processo.

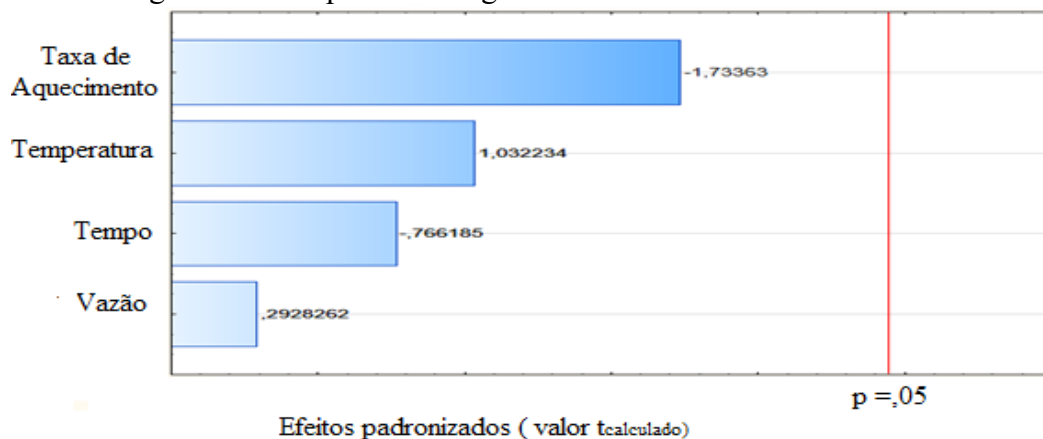
As figuras 29 e 30 traz os fatores utilizados no desenvolvimento dos ensaios e mostra qual fator interfere na produção do produto final.

Figura 29 – Resposta do diagrama de Pareto da casca do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

Figura 30 – Resposta do diagrama de Pareto da coroa do abacaxi



Fonte: Autora (2018).

Por meio do Diagrama de Pareto é possível analisar de maneira clara a relação de ação *versus* benefício entre os fatores utilizados no processo de obtenção do produto final, carvão, ou seja, prioriza os parâmetros que garantem melhores resultados. O Diagrama de Pareto consiste em um gráfico que mostra os efeitos que cada varável influência no ensaio como um todo, possibilitando a redução de perdas no processo.

Embora o gráfico de rendimentos (Figura 28) mostra que dependendo das condições utilizadas no processo de produção de carvão tem-se influencia, o Diagrama de Pareto (Figura 29) que é um instrumento de análise estatístico permite concluir que nenhuma das variáveis de controle tiveram influência estatística, podendo-se utilizar qualquer valor entre os estudados que as respostas serão bem próximas.

No diagrama de Pareto da coroa do abacaxi (Figura 30) tem-se a mesma resposta para a produção de carvão da casca do abacaxi, nenhum fator de ensaio, vazão, taxa de aquecimento, tempo e temperatura tiveram influência no rendimento da produção. Podendo, portanto, utilizar qualquer valor no processo que os resultados de rendimentos serão satisfatórios.

De acordo com a análise dos Diagramas de Pareto (Figura 29 e 30) nenhum fator foi influenciável para garantir um maior rendimento na produção de carvão. Portanto, as melhores condições a serem utilizadas no processo de pirólise são as que favorecem a economia de energia, tempo e gás de arraste, sendo os valores de 500°C, 30 minutos e 1cm³/min. respectivamente. A utilização de valor máximo só é interessante para a taxa de aquecimento, 4°C/min., proporcionando com que o processo alcance a temperatura desejada mais rápido, diminuindo assim o tempo do processo de pirólise.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI

5.3.1 Densidade Aparente

As Tabelas 20 e 21 mostram os valores de densidade aparente para a casca e coroa do abacaxi.

Tabela 20 - Análise da densidade do carvão da casca do abacaxi

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Resultado (g/mL)
1	5,552	20	0,278
2	10,646	40	0,266
3	15,708	60	0,262
4	19,993	80	0,250
5	24,719	100	0,247
Média	-	-	0,262
Desvio Padrão	-	-	0,011

Fonte: Autora (2018).

Tabela 21 - Análise da densidade do carvão da coroa do abacaxi

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Resultado (g/mL)
1	3,030	20	0,152
2	5,921	40	0,148
3	8,921	60	0,149
4	12,052	80	0,151
5	15,084	100	0,151
Média	-	-	0,150
Desvio Padrão	-	-	0,001

Fonte: Autora (2018).

Os valores da densidade 0,262 e 0,150 g/mL, do carvão da casca e coroa do abacaxi respectivamente, foram determinadas a partir da média dos valores encontrados nas (Tabelas 20 e 21) e estão demonstrados, comparados com alguns carvões industriais, na Tabela 22.

Tabela 22 – Densidade de alguns carvões agroindustriais

Resíduo	Densidade (g/mL)	Referência
Cascas das amêndoas da castanha - sapucaia	0,580	Nascimento (2012)
Ouriço da castanha - sapucaia	0,440	Nascimento (2012)
Carvão vegetal comercializado	0,329	Anater (2017)
Casca do abacaxi	0,262	Autora (2018)
Coroa do abacaxi	0,150	Autora (2018)

Fonte: Autora (2018).

A densidade aparente do carvão é denominada como uma propriedade física que está ligada diretamente a densidade da biomassa. Observa-se que o carvão que possui maior densidade aparente é o obtido da casca do abacaxi, em consequência possui baixa taxa de voláteis e cinzas.

5.3.2 Análise Imediata

A literatura recomenda que o material volátil seja de 20 a 30%, o carbono fixo de 65 a 80% e a quantidade de cinzas entre 1 e 3%, podendo variar conforme a faixa de temperatura do processo (DUBOC,2007). Para Bizzo (2003), a parte do combustível que se separa em forma gasosa durante o aquecimento são os materiais voláteis, composto basicamente por

hidrocarbonetos, hidrogênio, monóxido de carbono e metano. Após a liberação de material volátil encontra-se a fração de carbono fixo, podendo conter elementos não liberados durante a volatilização. Já as cinzas são todos os minerais presentes na biomassa.

Os dados da análise imediata do carvão foram obtidos por meio da média dos ensaios realizados em triplicatas, portanto, podemos analisar na Tabela 23 os teores de umidade, cinzas, material volátil e carbono fixo.

Tabela 23 - Análise imediata do carvão da casca e coroa do abacaxi

Carvão	Análise Imediata (%)				Referência
	Umidade	Cinzas	Material Volátil	Carbono Fixo	
Casca de arroz	4,66	46,06	8,32	45,65	Morais (2006)
Vegetal da madeira	11,0	1,30	16,0	82,70	De Souza <i>et al.</i> (2016)
Carvão da Casca	6,34	11,53	28,76	53,37	Autora (2018)
Carvão da Coroa	8,60	17,46	48,44	25,50	Autora (2018)

Fonte: Autora (2018).

Um carvão com excelente desempenho energético é necessário que o material possua algumas características, tais como, elevado teor de carbono fixo e baixos teores de voláteis e cinzas, pois estas características influenciam diretamente no poder calorífico superior. Quantidades elevadas de materiais voláteis no carvão tendem a produzir maior quantidade de fumaça e menor eficiência energética no momento da queima (NEVES, 2011).

O teor de materiais voláteis encontrados na Tabela 23, mostra que o carvão da casca e coroa do abacaxi não possuem grandes vantagens na produção energética, visto que possuem valores muito elevados em relação ao que a literatura aponta como referência. Embora o teor de umidade esteja abaixo de 10%, a quantidade de material voláteis está muito acima do limite permitido, diminuindo o teor de carbono fixo que influencia diretamente no poder calorífico do material.

5.3.3 Análise Elementar (CHN)

Por meio da Tabela 24 é possível analisar os valores encontrados de carbono, hidrogênio e oxigênio para a amostra de finos de carvão da casca e coroa do abacaxi.

Tabela 24 - Análise Elementar do carvão

Carvão	C (%)	N (%)	H (%)	S/O* (%)	Referência
Casca de arroz	51,02	-	2,45	4,37	Morais (2006)
Bagaço de laranja	39,8	5,0	1,2	-	Benevides (2016)
Casca	65,53	1,82	1,94	30,71	Autora (2018)
Coroa	58,27	2,8	2,23	36,70	Autora (2018)

*Por diferença

Fonte: Autora (2018).

A composição elementar do carvão da casca e coroa do abacaxi aproximou-se dos resultados encontrados na literatura. Os finos de carvão apresentaram uma boa proporção de carbono e hidrogênio ficando superior a proporção de enxofre e oxigênio, garantindo uma maior eficiência de queima, uma vez que a quantidade de teores de carbono também se encontra elevada proporcionando uma maior quantidade de poder calorífico (ANDRADE, 2015).

5.3.4 Carbono Orgânico Total (COT)

A matéria orgânica de uma biomassa é determinada pela concentração de carbono orgânico total (COT). A quantidade de carbono influencia diretamente no potencial energético que uma biomassa pode possuir. A diferença entre a quantidade de Carbono Orgânico Total (COT) e carbono total, proporciona encontrar a quantidade de carbono inorgânico, conforme a Tabela 25.

Tabela 25– Carbono Orgânico Total - COT

	Casca do abacaxi	Coroa do abacaxi
Carbono Orgânico Total (%)	40,62	34,08
Carbono Total (%)	40,87	40,60
Carbono Inorgânico (%)	0,25	6,52

Fonte: Autora (2018).

Por meio das análises de poder calorífico, análise elementar e COT foi possível observar que a biomassa da coroa possui uma maior quantidade de carbono inorgânico. A quantidade de cinzas que a biomassa possui pode ter influenciado diretamente nos valores encontrados.

De acordo com a informação da Tabela 25, nas análises de poder calorífico e a análise elementar, a biomassa da coroa possui um potencial energético inferior ao da casca, podendo

ser reforçado esta afirmação com base na quantidade de carbono inorgânico. A quantidade de carbono inorgânico da coroa pode ter tido influência devido seu maior contato com os nutrientes do solo.

5.3.5 Teste de Adsorção em Azul de Metileno

A Tabela 26 e a Tabela 27 apresentam os resultados experimentais obtidos durante os ensaios de adsorção do poluente em carvão da casca e coroa do abacaxi, respectivamente.

Tabela 26 - Teste de adsorção de azul de metileno, carvão da casca do abacaxi

Teste de adsorção de azul de metileno com diferentes massas						
Identificação	Quant. amostra (g)	Conc. final (mg L⁻¹)	Conc. Final média (mg L⁻¹)	Conc. adsorvida média (mg L⁻¹)	Quant. de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg g⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
1.1		1,36				
1.2	0,2	1,51	1,46	8,54	1,28	85,45
1.3		1,49				
2.1		1,35				
2.2	0,4	1,30	1,30	8,70	0,65	86,95
2.3		1,26				
3.1		1,26				
3.2	0,6	1,29	1,27	8,73	0,44	87,27
3.3		1,26				

Fonte: Autora, 2018.

As análises de adsorção mostrada nas Tabelas 26 e 27, demonstraram que o maior potencial de purificação foi de 87,27% e 99,33% de eficiência para os finos de carvão da casca e coroa do abacaxi, respectivamente, tornando-os tão eficientes na remoção de azul de metileno quanto ao carvão ativado comercializado. O carvão da coroa apresenta uma eficiência de 13,82% em relação ao carvão da casca do abacaxi. O aumento de massa não desempenhou um papel importante na capacidade adsorptiva de ambos os carvões, visto que a quantidade de massa foi aumentada em 300% e a eficiência teve aumento de apenas 1,26% para o carvão da coroa e 2,12% para o carvão da casca do abacaxi. Trabalho na literatura conseguiu chegar a esta mesma conclusão, que não há necessidade de aumentar a quantidade de matéria para um melhor desempenho na remoção do corante.

Tabela 27 - Teste de adsorção de azul de metileno, carvão da coroa do abacaxi

Teste de adsorção de azul de metileno com diferentes massas						
Identificação	Quant. amostra (g)	Conc. final (mg L ⁻¹)	Conc. Final média (mg L ⁻¹)	Conc. adsorvida média (mg L ⁻¹)	Quant. de soluto adsorvido por grama de adsorvente qe (mg g ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
1.1		0,19				
1.2	0,2	0,20	0,19	9,81	1,47	98,09
1.3		0,18				
2.1		0,10				
2.2	0,4	0,10	0,10	9,90	0,74	98,98
2.3		0,10				
3.1		0,07				
3.2	0,6	0,06	0,07	9,93	0,50	99,33
3.3		0,06				

Fonte: Autora, 2018.

O uso de adsorção com carvão, como método de tratamento de efluentes contendo corantes tem sido aplicado em diversas pesquisas. Sob este cenário, o carvão produzido com a casca e coroa do abacaxi, sobre tudo o da coroa, apresentou uma eficiência de remoção da coloração do efluente têxtil, demonstrando assim, como uma ótima alternativa a ser empregada no aproveitamento de água para os demais processos da indústria.

5.3.6 Análise de pH

O pH encontrado para o carvão da casca e coroa do abacaxi, foi de 9,36 e 9,46, respectivamente, permitindo concluir por meio de pesquisas que o pH básico é favorável para o processo de adsorção. Pois, conforme Gregório (2012), a remoção de azul de metileno com a biomassa *in natura* do coco babaçu, foi mais eficaz com o pH básico na faixa de 7 e 10 em relação ao pH 4, ainda informou que o possível valor satisfatório para as substâncias básicas se dar devido ocorrer uma possível competição entre os íons H⁺ em solução e as moléculas de azul de metileno.

6 CONCLUSÕES

O uso da biomassa do resíduo do abacaxi é uma ótima alternativa para geração de energia. O Brasil está na terceira posição no *ranking* da produção mundial e no *ranking* nacional o Tocantins alcança o nono lugar.

O uso da biomassa residual da casca e coroa do abacaxi, pode reduzir os impactos ambientais. Como contaminação do solo, da água, proliferação de doenças, além de proporcionar uma renda na venda de briquetes e carvão como fonte energética, bem como para adsorção de impurezas.

A biomassa residual que tem um grande potencial, visto que comparado com outras biomassas promissoras para o uso energético por meio de suas análises imediatas, percebe-se que o resíduo do abacaxi se encontra com valores bem próximos aos da literatura. Por meio da análise imediata da biomassa foi encontrado o valor de umidade 5,64%, cinza 4,62%, material voláteis 88,94%, carbono fixo com 0,79% e densidade 0,469 g/mL para a casca do abacaxi, já para a biomassa da coroa do abacaxi os valores para umidade, cinzas, material voláteis, carbono fixo densidade foram de 3,64%, 6,92%, 88,16%, 1,26% e 0,370 g/mL, dados que favorecem para a fabricação de carvão para remoção de efluentes têxteis.

Embora a biomassa da casca do abacaxi possua vantagens que proporcionam a fabricação de briquetes para o uso energético, verificou-se que a casca *in natura* apresenta maior quantidade de umidade demandando um tempo maior de secagem para obtenção da biomassa, além de necessitar de cuidados com relação ao armazenamento, para evitar umidade e a proliferação de fungos.

Os valores do poder calorífico encontrado para a biomassa da casca e coroa do abacaxi, são valores bem próximos aos relatado pela literatura para outros tipos de biomassa, o presente trabalho obteve de poder calorífico para a casca igual a 17,77 MJ/kg e 17,59 MJ/kg para a coroa do abacaxi.

A biomassa estudada possui altos teores de carbono e hidrogênio, favorecendo, portanto, no poder calorífico, os valores encontrados de carbono foram de 40,87% e 40,60%, nitrogênio 0,83% e 1,89% e hidrogênio de 6,07% e 5,81% para a casca e a coroa respectivamente.

A análise Lignocelulósica obteve os valores iguais a 12,85% e 12,55%, 24,32% e 43,12%, 12,55% e 19,15%, para lignina, celulose e hemicelulose. Valores estes que estiveram próximo ao encontrado por outros autores em relação a outras biomassas.

Na obtenção do carvão por meio de pirólise em reator de leito fixo, não houve diferença significativa nos rendimentos obtidos entre o resíduo da casca e da coroa do abacaxi, proporcionando assim, o uso de qualquer uma das biomassas para produção de carvão. Para que o processo torne mais vantajoso, o ideal é que seja utilizado o processo que demanda menor custo, que seria o menor tempo (30 minutos), menor temperatura (500°), menor vazão do gás (1cm³/min.) e maior taxa de aquecimento (4°C/min.), proporcionando o processo chegar a temperatura desejada com um menor tempo.

Por meio da análise imediata do carvão da casca e coroa do abacaxi, foi possível verificar que o material não possui potencial para uso energético. Entretanto, verificou-se um grande potencial para remoção de corantes presentes efluentes de fábricas têxteis.

A análise imediata do carvão da casca do abacaxi encontrou valores para umidade, cinza, material voláteis, carbono fixo e densidade igual a 6,34%, 11,53%, 28,76%, 53,37%, 0,262 g/mL respectivamente e para o carvão da coroa do abacaxi foi encontrado 8,6% para umidade, 17,46% de cinzas, 48,44% de material voláteis, 25,50% de carbono fixo e densidade igual a 0,150 g/mL. Mostrando um potencial para a biomassa em relação a geração de energia, entretanto para o carvão os valores foram totalmente diferentes em relação aos reportados na literatura.

A análise elementar encontrou valores de carbono 65,53% e 58,27%, nitrogênio 1,82% e 2,8% e hidrogênio de 1,94% e 2,23% para a casca e coroa do abacaxi respectivamente. O carbono orgânico total encontrado para casca e coroa do abacaxi foi de 40,32% e 34,08% respectivamente.

O carvão vegetal da biomassa da casca e coroa do abacaxi possui vantagens quando comparados com o carvão ativado comercializado, visto que obteve eficiência competitiva já que os carvões comercializados possuem eficiência no tratamento de efluentes em torno de 80-100%, levando em consideração a molécula a ser adsorvida, a quantidade de carvão, concentração de impurezas contidas em solução e a temperatura do processo. O carvão da casca e coroa do abacaxi apresentaram pH básico, com valores iguais a 9,36 e 9,46 para casca e coroa respectivamente.

A variação na quantidade de massa do carvão da casca e coroa do abacaxi utilizado no processo de adsorção não teve influência de remoção do poluente azul de metileno.

Os resultados obtidos permitem concluir que tanto a casca quanto a coroa do abacaxi são uma ótima fonte alternativa para geração de energia, devido à quantidade de calor gerado. Além desta vantagem, durante o processo de carbonização são gerados outros produtos com grande valor ambiental como o bio-óleo, que substitui o diesel. Além de ser ambientalmente

favorável, o aproveitamento energético e racional desse tipo de biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita. Além de ser possível a aplicação no processo de tratamento de efluente têxteis, tornando o uso viável do ponto de vista ambiental, considerando que é um resíduo facilmente encontrado e com menor custo em comparação ao carvão ativado.

O carvão produzido da biomassa residual do abacaxi, tem maior aplicabilidade no processo de remoção de poluentes têxteis.

7 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

É necessário o estudo da viabilidade econômica do processo da produção de biomassa e carvão para geração de energia, de forma que possa realizar uma comparação com os materiais já industrializados.

Faz-se necessário realizar a ativação do carvão e estudar os finos para a verificação do desempenho em relação ao tratamento de efluentes.

Estudar as frações de bio-óleo e gás resultantes do processo de pirólise.

REFERÊNCIAS

ABIOYE, Adekunle Moshood; ANI, Farid Nasir. Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1282-1293, 2015.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2016. 2017. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf> . Acesso em: 16 de setembro de 2017.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores, 2015, Anuário. Indústria Brasileira de Árvores, Brasília, 80p. 2015.

ANATER, M. J. do N.. Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico comercializado em Curitiba. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, 75p, 2017.

ANDRADE, L. A.. Aproveitamento do caroço de manga: um estudo de viabilidade da pirólise usando energia solar. 2015.

ANDRADE, P.F. de S. Fruticultura: análise da conjuntura agropecuária safra 2016/17. Secretaria da agricultura e do abastecimento. Departamento de economia rural – Estado do Paraná, 2017.

ANDRADE, L. A.; VIEIRA, LUIZ GUSTAVO; BARROSO, MAS. CARACTERÍSTICAS TERMOQUÍMICAS DA PIRÓLISE DO CAROÇO DE MANGA. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 2, p. 1979-1986. 2015.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica - 2ª ed., Brasília: 2005. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) . Acesso em: 01 de agosto de 2017.

———. BEN. Balanço Energético de Nacional de 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf. Acesso em 01 de agosto de 2017.

———. BEN. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese ano base 2016. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf. Acesso em: 05 de agosto de 2017.

———. Atlas de Biomassa, ANEEL, Brasília, Brasil. Disponível em [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf), 2016. Acesso em: 09 de agosto de 2017.

ARANTES, D. C.. Sugarcane bagasse: thermal and energy analysis from Biomass. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BARATA, D. K. D.. Determinação da composição dos gases combustíveis resultantes do processo de gaseificação de biomassa em reator de leito fluidizado circulante utilizando a teoria

de minimização da energia livre de Gibbs. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BENEVIDES, L. C.. Pirólise do bagaço de laranja: análise cinética dos estágios de secagem e devolatização. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia.

BESEN, G. R.; GÜNTHER, W. M. R.; RODRIGUEZ, A.; BRASIL, A. L. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. SALDIVA P. et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris, 2010.

BIOMASSA BR. Biomassa e Energias Renováveis. A geração de energia elétrica com energias renováveis aumenta sua força. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=3918#>. 2016. Acessado em 18 de setembro de 2017.

BITTENCOURT, Pedro Oliveira; DA SILVA, E. M.; PEDROZA, M. M.; SILVA PAZ, E. D. C.; DOS SANTOS, M. L. G.. PRODUÇÃO DE CARVÃO ATRAVÉS DA PIRÓLISE DE SERRAGEM. In: 8ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO. 2017.

BIZZO, W. A.. Geração, distribuição e utilização de vapor. Campinas: FEM/Unicamp, 2003.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H.W.. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. *Ciência & Engenharia*, v. 17, n. 1/2, p. 27-32, 2008.

BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M.. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2ª ed. rev.–Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Techno Politik Editora, 140 p., 2009.

BRAGA, R. M.; QUEIROGA, T. S.; CALIXTO, G. Q.; ALMEIDA, H. N.; MELO, D. M. A.; Melo, M. A. F.; CURBELO, F. D. S.. The energetic characterization of pineapple crown leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 23, p. 18987-18993, 2015.

BRASIL. Política Nacional de Saneamento Básico. Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 16 de novembro de 2016.

———. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 16 de novembro de 2016.

———. Energias Renováveis no Brasil. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), Brasília, Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível em: http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html. Acesso em: 09 de agosto de 2017.

BREMENKAMP, C.A.. Produtividade do abacaxizeiro Jupi[®] e qualidade do abacaxi produzido na região litorânea sul capixaba. 2011.

BRIDGWATER, A.V.. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and bioenergy*, v. 38, p. 68-94, 2012.

CASTELLUCCI, S.; COCCHI, S.; CELMA, C.B.. Energy characterization of residual biomass in mediterranean area for small biomass gasifiers in according to the European standards. *Applied Mathematical Sciences*, v. 8, n. 129-132, p. 6621-6633, 2014.

CEASAMINAS. Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A. Agro qualidade – Abacaxi. Disponível em: <http://www.ceasaminas.com.br/agroqualidadeabacaxi.asp>. Acesso em 24 de setembro de 2017.

CEMPRE 2016. Fichas técnicas. Composto Urbano. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano>. Acesso em: 16 nov. 2016.

CORREIA, E. A. S.. Compósitos de Matriz Geopolimérica Reforçados com Fibras Vegetais de Abacaxi e de Sisal. 2011.

CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S. Taxonomia, espécies, cultivares e morfologia. In: CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S. O abacaxizeiro. Cultivo, agroindústria e economia. Brasília: Embrapa, 1999. p. 17-52. (Comunicação para Transferência de Tecnologia). 1999.

———. Abacaxi: manejo cultural e mercado. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003.

CRESTANI, M., BARBIERI, R. L., HAWERROTH, F. J., CARVALHO, F. I. F. D., OLIVEIRA, A. C. D.. Das Américas para o Mundo: origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1473-1483, junho 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010000600040&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 04 de setembro de 2017.

DA SILVA, C. C., DA CUNHA, R. A. D., DOS SANTOS FELIPE, R. C. T., & FELIPE, R. N. B. Desenvolvimento de tecidos de sisal para utilização em compósitos poliméricos. *Holos*, v. 4, p. 12-19, 2009.

DA SILVA, J. W. F., CARNEIRO, R. A. F., OLIVEIRA, S. M., & LOPES, J. M. Biomassa Residual Agrícola para Produção de Briquetes na Microrregião de Dourados-MS. *Cadernos de Agroecologia*, v. 11, n. 2, 2017.

DA SILVA, R. L.; DA SILVA, A. M. P.. Bioenergia da Biomassa Residual: Potencial Energético da Combustão da Casca de Arroz em Dourados-MS e Região. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 1, 2016.

DA SILVA MOTA, F. D. A.; VIEGAS, R. A.; DA SILVA LIMA, A. A.; DOS SANTOS, F. F. P.; CASELLI, F. D. T. R. Pirólise da Biomassa Lignocelulósica: Uma Revisão Pyrolysis Of Lignocellulose Biomass: A Review. 2015.

DE SOUZA, N. D.; AMODEI, J. B.; XAVIER, C.N.; JÚNIOR, A. F. D.; DE CARVALHO, A.M.. Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 2, p. 270-277, 2016.

DE MEDEIROS, M. S.; SILVA, F. L.; GOMES, J. P.; Santos, Sh.F. M.; Alcântara, S. R.. Caracterização físico-química do resíduo do bagaço de laranja para obtenção de pectinase através do cultivo em estado sólido. In: XX SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS. Fortaleza. 2015.

DIAS, J. D. S.; dos SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H.; BARBOSA, P. F.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. *Embrapa Agroenergia-Documents (INFOTECA-E)*, 2012.

DOS SANTOS, M. L. G.; PEDROZA, M. M.; DE OLIVEIRA, L. R. A.; MOTA, B. H. A.; PAZ, E. D. C. S.; DA SILVA, E. M.; MOURA, J. V. B.. Adsorção de azul de metileno usando o carvão da casca do abacaxi e mistura de frutas. In: *Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais*. 2017.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, MO de O.. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. *Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. D. S.; PALUDO, A. (2007). Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. *Embrapa Cerrados*. 2007.

ENCINAR, J. M.; GONZALEZ, J. F.; GONZALEZ, J. Steam gasification of *Cynara cardunculus* L.: influence of variables. *Fuel Processing Technology*, v. 75, n. 1, p. 27-43, 2002.

EICHLER, P.; SANTOS, F.; TOLEDO, M.; ZERBIN, P.; SCHMITZ, G.; ALVES, C.; GOMES, F.. Produção do biometanol via gaseificação de biomassa lignocelulósica. *Quim. Nova*, v. 38, n. 6, p. 828-835, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mandioca e Fruticultura, 2015. Disponível em:

http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/abacaxi/b1_abacaxi.pdf
f. Acessado em: 04 de setembro de 2017.

FERNANDO S.; ADHIKARI S.; CHANDRAPAL C.; MURALI N Biorefineries: current status, challenges, and future direction. *Energy & Fuels*, v. 20, n. 4, p. 1727-1737, 2006.

FERNANDES, I. J.; DOS SANTOS, E. C.; OLIVEIRA, R.; REIS, J. M.; CALHEIRO, D.; MORAES, C. A.; MODOLO, R. C.. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa. In: *Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais*. 2017.

FERREIRA, R. A. dos R.. Contribuição ao estudo cinético e balanço energético da pirólise autotérmica da palha de cana-de-açúcar através de análises termogravimétricas e calorimetria. 2012.

FONSECA, R. S.; DEL SANTO, V. R.; DE SOUZA, G. B.; PEREIRA, C. A. M.. Elaboração de barra de cereais com casca de abacaxi. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. ALAN [online]. 2011, vol.61, n.2, pp. 216-223. ISSN 0004-0622. 2011.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Porous structure and adsorptive properties of pineapple peel based activated carbons prepared via microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 148, n. 1, p. 191-195, 2012.

FU, B.; GE, C.; YUE, L.; LUO, J.; FENG, D.; DENG, H.; YU, H. Characterization of biochar derived from pineapple peel waste and its application for sorption of oxytetracycline from aqueous solution. *BioResources*, v. 11, n. 4, p. 9017-9035, 2016.

FIGUEIREDO, A. L.. Pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 62, p. 101, 2010.

———. Aproveitamento agroindustrial de resíduos provenientes do abacaxi pérola minimamente processado. *HOLOS*, v. 2, p. 122-136, 2017.

GAMA, L.; CARDOSO; NEVES, G.Y.S.; GOHARA, A.K; SOUZA, A.H.P.; STROHER, G.R. ; MATSUSHITA, M.; GOMES, S.T.M.; SOUZA, N.E.; STROHER, G.L. Adsorção do azul de metileno em carvão vegetal de cascas de coco verde. 9º Encontro Nacional de Tecnologia Química. Goiânia, 2016.

GARCÍA, R., PIZARRO, C., LAVÍN, A. G., BUENO, J. L. (2012) Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103, 249-258. 2012.

GALDINO, M. A.; LIMA, J. H. G.; RIBEIRO, C.M.; SERRA, E. T. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil, *Revista da DIRENG*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 17-25. 2000.

GOUVEIA, N.. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & saúde coletiva*, v. 17, n. 6, 2012.

GURGEL, G. B.. Aspectos fisiológicos de plantas de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) sob cultivo hidropônico e convencional associado ao estudo molecular do florescimento. Dissertação de Mestrado, 2017.

GRANADA, G. G.; ZAMBLAZI, R. C.; MENDONÇA, C.R.B.. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 22, n. 2, 2004.

GREGÓRIO, A.M.; DA SILVA, P.R.; DE FARIA, E.O.; KRAUSER, M.O.; LEAL, P.V.B. Influência do pH na adsorção de azul de metileno em Babaçu in natura. 52º Congresso Brasileiro de Química. Recife, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso em: 03 de outubro de 2017.

———. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766>. Acesso em: 03 de outubro de 2017.

———. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemtico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201708.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemtico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201708.pdf). Acesso em: 03 de outubro de 2017.

LEITE, RR de A.; DE CASTRO, A.M.C.; ESPÍRITO SANTO, E.. Demandas dos consumidores de abacaxi do centro-oeste. Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2003.

LOUSADA Jr, E.J.; COSTA, J.M. da C.; NEIVA, M. N. J.; RODRIGUEZ, M. N. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando seu aproveitamento na alimentação animal, v. 37, n. 1, p. 70-76, Revista Ciência Agronômica, 2006.

MACEDO, L.A.; ROUSSET, P.L.A.; VALE, A.T.. Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 34, n. 80, p. 417-424, 2014.

MACEDO, L.A.. Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação. 2012. 49p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Brasília.

MAHAMAD, M. N.; ZAINI, M. A. A.; ZAKARIA, Z. A.. Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 102, p. 274-280, 2015.

MARTINI, P. R. R. Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos. 2009. 136 f. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.

MCKENDRY, P.. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, Volume 83, N. 1, maio, 2002, p. 37-46, 2002.

———. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource technology, v. 83, n. 1, p. 47-54, 2002.

MEDINA, J.C. A cultura do abacaxi. In: MEDINA, J.C. et al. Frutas tropicais 2. São Paulo: Canton, 1978. p.06-68. 1978.

MELETTI, L.M.M.; SAMPAIO, A.C.; RUGGIERO, C.. Avanços na fruticultura tropical no Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura, v. 33, n. spe1, p. 73-75, out. 2011. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500010&lng=pt&nrm=iso . Acesso em: 28 ago. 2017.

MENA, L.E.H.. Estudo experimental da pirólise lenta de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro) e caracterização do carvão vegetal gerado. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, SP.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Abacaxi: indicadores do Abacaxi de Minas Gerais e do Brasil. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Agricultura/2017/Mar/perfil_abacaxi_mar_2017.pdf. Acesso em: 30 ago. 2017.

MORETTI, C.L.. Efeito do tipo de corte nas características físico-químicas e físicas do abacaxi pérola minimamente processado. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2006. 31 p. 2006.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C.S.; SOUZA, R. C. R. 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, 2006.

NIEDERSBERG, C. Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*aleurites fordii*), resíduo do processo de produção de óleo. 2012. 65 p. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação Em tecnologia Ambiental, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul. 2012.

NASCIMENTO, V. F.. Caracterização de biomassas amazônicas: ouriço de castanha-do-Brasil, ouriço de sapucaia e caroço do fruto do tucumã: visando sua utilização em processos de termoconversão. 2012.

NEVES, T. A.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M.. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319, maio 2011. ISSN 1983-2605. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/275/231>. Acesso em: 15 ago. 2018.

OLIVEIRA, T. J. P. Pirólise rápida de casca de soja: desenvolvimento do reator de leito fluidizado, análise do bio-óleo produzido e do vapor obtido na pirólise analítica. 2015. OECD - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris. Capítulo Brasil. 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en. Acesso em: 30 ago. 2017.

OLIVEIRA, E. L.; LADCHUMANANANDASIVAM, R.; ALEXANDRE, M. E. de O.; VERÍSSIMO, S. A.; BEZERRA, C. de M.; SOUZA, E. C.. Produção e caracterização das fibras da folha do abacaxi. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Set. 2004. Disponível em:

https://www.academia.edu/5804517/PRODU%C3%87%C3%83O_E_CHARACTERIZA%C3%87%C3%83O_DAS_FIBRAS_DA_FOLHA_DO_ABACAXI. Acesso em: 16 de setembro de 2017.

PACHECO, F.. Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, v. 149, p. 4-11, 2006.

PEREIRA, M. A. B.; SIEBENEICHLER, S. C. U.; LORENÇONI, R. U.; ADORIAN, G. C.; SILVA, J. C. D.; GARCIA, R. B. M. U.; BRITO FILHO, R. Qualidade do fruto de abacaxi comercializado pela Cooperfruto: Miranorte-TO. Revista Brasileira de Fruticultura, 2009.

PEREIRA, T. V.; SEYE, O.. Caracterização física termica de biomassa local. Cana, v. 45, n. 43, p. 5-71, 2014.

PAZ, E. da C. S.. Padronização das condições de degradação termogravimétrica da fibra de coco em reator de leito fixo na produção de carvão. 2017. 101p. Dissertação de mestrado. Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto, 2017.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. Revista Liberato, 11, p.147-157, dez. 2010.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., BEZERRA, M. B. D. Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 11, p.147-157, dez. 2014.

PEDROZA, M. M. Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo. Tese de Doutorado, Universidade do Rio Grande do Norte, 210 p, 2011.

EXPRESSÃO SERGIPANA. Esterco bovino pode ser transformado em biocombustível e outros produtos. <http://expressaosergipana.com.br/esterco-bovino-pode-ser-transformado-em-biocombustivel-e-outros-produtos/> Acesso em ago. 2018.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR, M. G.. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113, maio 2011. ISSN 1983-2605. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; ALEXANDRE, G. P.. Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassas lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. Ciência e Natura, v. 37, n. 3, p. 862-868, 2015.

REINHARDT, D. H.; SOUZA, LF da S.; JRS (ORG.) CABRAL. Abacaxi produção: aspectos técnicos. Embrapa Informação Tecnológica; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000.

RODRIGUES, S. G.; SANTOS, G. R. DOS; OLIVEIRA, S.M. DE; PALES, R.C.; COSTA, V.S.C..TRANSFORMAÇÕES NA PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL, TRABALHO E MEIO AMBIENTE. V Congresso em Desenvolvimento Social. 2016.

RODRIGUES, L. D.; SILVA, I. T. D.; ROCHA, B. R. P. D. Uso de briquetes compostos para produção de energia no Estado do Pará. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

RODRIGUES, E.. Secagem de abacaxi em secador de leito fixo. Tese de Doutorado, Tese de Doutorado, 119P, 2006.

ROGÉRIO, M. C. P.; BORGES, I.; NEIVA, J. N. M.; PIMENTEL, J. C. M.; CARVALHO, F. C.; PONTE, T. R.; COSTA, J. B.; CATUNDA, A. G. V. (2004). Valor nutritivo do subproduto da indústria processadora de Abacaxi (Ananás comosus) em dietas para ovinos. Consumo de Nutrientes. Anais. 141ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 2004.

ROCHA, J. D.; MESA PÉREZ, J. M. CORTEZ, LAB Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Alcool, p. 12-16, 2004.

SEYE, O., CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O.. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Proceedings online...Acessado em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200000200022&lng=en&nrm=abn . Acessado em: 04 Agosto 2018.

SANTOS, R. M.. Extração e caracterização de nanocristais de celulose a partir de folhas de abacaxi. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., PIS, J. J., MARTÍNEZ, O., CALVO, L. F., BERNAD, P. L. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. Biomass and Bioenergy, 33, p.933-940, 2009.

SANTOS, D.; GULYURTLU, I.; CABRITA, I.. Materiais e energia: conversão termoquímica de combustíveis. Corrosão e Protecção de Materiais, v. 29, n. 3, p. 78-90, 2010.

SANTOS, K. G. Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo. 2011. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2011.

SÁNCHEZ, J. D.; RAMÍREZ, G. E.; BARAJAS, M. J.. Comparative kinetic study of the pyrolysis of mandarin and pineapple peel. Journal of analytical and applied pyrolysis, v. 118, p. 192-201, 2016.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F.. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 38, n. 7, p. 1694-1709, 2007.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.S.; MEKHILEF, S.. A review on biomass as a fuel for boilers Renewable Sustainable Energy Rev, 15 (2011), pp. 2262-2289. 2011.

SCHUTZ, F.C.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.

SEAGRO. Secretaria de Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária. Produtores do Tocantins iniciam plantio do abacaxi irrigado. Disponível em: <http://seagro.to.gov.br/noticia/2016/9/13/produtores-do-tocantins-iniciam-plantio-do-abacaxi-irrigado/>. Acessado em 04 de setembro de 2017.

———. Colheita do abacaxi no Tocantins está a todo vapor com expectativa de colher 75 milhões de frutos. 2016. Disponível em: <http://seagro.to.gov.br/noticia/2016/1/7/colheita-do-abacaxi-no-tocantins-esta-a-todo-vapor-com-expectativa-de-colher-75-milhoes-de-frutos>. Acessado em 04 de setembro de 2017.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Uso de resíduos e dejetos como fonte de energia renovável. Brasília. SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2009.

SILVA, O. de O. Aproveitamento do bagaço de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) para produção biotecnológica de xilitol. 142f. (Doctor Scientiae). Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Federal de Vicosa, MG, 2011.

SILVA, D. A. DA; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. Floresta Ambient., Seropédica, v. 21, n. 4, p. 561-68, Dec. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000400016&lng=en&nrm=iso>. access on 24 Aug. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.043414>.

TEIXEIRA DO VALE, A.; SANTOS DIAS, Í.; SANTANA, M. A. E.. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. Ciência Florestal, v. 20, n. 1, 2010.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. Holos, v. 5, 2013.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, v. 89, n. 5, p. 913-933, 2010.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. 2012. 72p. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2012.

VIEIRA, G. E. G.. Fontes alternativas de energia–Processo aperfeiçoado de conversão térmica. 2004. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado). 2004. 181 f. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro.181p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense. 2004.

WALDMAN, M.. Não há planeta para tanto lixo. Entrevista concedida para a Revista Planeta, edição, n. 471, p. 09-11, 2011.

WALTER, A.; DOLZAN, P.. Country Report: Brazil – IEA Bioenergy Task 40. 2014. Disponível em: <http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/iea-task-40-country-report-2014-brazil.pdf>. Acessado em: 04 de setembro de 2017.

WILD, P.J.; DEN UIL, H.; REITH, J.H.; KIEL, J.H.A.; HEERES, H.J. Biomass valorisation by staged degasification: A new pyrolysis-based thermochemical conversion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 85, p. 124–133, 2009

WYMAN, C. E.; DALE, B. E.; ELANDER, R. T.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. R.; LEE, Y. Y.. Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource technology*, v. 96, n. 18, p. 1959-1966, 2005.

WERLANG, E. B.; DE SOUZA SCHNEIDER, R. D. C.; RODRIGUEZ, A. L.; NIEDERSBERG, C. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. *Revista Jovens Pesquisadores*, v. 3, n. 1, 2013.

YARRIS, L. The Evolutionary Roat to Biofuels. Disponível em: <http://www2.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/>>. Acesso em: 24 de setembro de 2017.

YANO, CYB; CARDOSO, D. B.; MATTIETTO, R. A. Aproveitamento de resíduos de abacaxi na elaboração de uma bebida mista adicionada de polpa integral de maracujá amarelo. In: Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 7, 2007, Campinas. Ciência e tecnologia de alimentos em benefício a sociedade: ligando a agricultura à saúde: resumos. Campinas: SBCTA: Unicamp/FEA, 2007.

Zhang, L., Liu, R., Yin, R., & Mei, Y. Upgrading of bio-oil from biomass fast pyrolysis in China: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 66-72, 2013.

ZHAO, Bin; O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C., & Hou, D. Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 977-987, 2018.