



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**HIGOR FERNANDO PINA GOMES**

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE CINZAS DE BIOMASSAS  
AMAZÔNICAS PARA FINALIDADES AGRONÔMICAS**

**ANANINDEUA, PA  
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

G633i Gomes, Higor Fernando Pina  
Investigação do potencial tecnológico de cinzas de biomassas  
amazônicas para finalidades agronômicas / Higor Fernando Pina  
Gomes. — 2019.  
xv, 66 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Simone Patrícia Aranha da Paz Paz  
Coorientador(a): Prof. Me. Alan Rodrigo Leal de Albuquerque  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de  
Engenharia de Materiais, Campus Universitário de Ananindeua,  
Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

1. Biomassa. 2. Cinza. 3. Fertilizante. I. Título.

CDD 621.4838

---

HIGOR FERNANDO PINA GOMES

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE CINZAS DE BIOMASSAS  
AMAZÔNICAS PARA FINALIDADES AGRONÔMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de  
Materiais, pela Faculdade de Engenharia de  
Materiais, do Campus Universitário de  
Ananindeua, da Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Simone Patrícia Aranha  
da Paz

ANANINDEUA, PA  
2019

**Higor Fernando Pina Gomes**

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL TECNOLÓGICO DE CINZAS DE BIOMASSAS  
AMAZÔNICAS PARA FINALIDADES AGRONÔMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do Bacharelado em Engenharia de Materiais.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dra. Simone Patrícia Aranha da Paz (Orientadora – UFPA)**

---

**MSc. Alan Rodrigo Leal de Albuquerque (Coorientador – UFPA)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra Marlice Cruz Martelli (Avaliadora externa – UFPA)**

---

**Prof. MSc. Alacid do Socorro Siqueira Neves (Avaliador interno – UFPA)**

**Data da aprovação:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**Conceito:** \_\_\_\_\_

ANANINDEUA, PA  
2019

Dedico este trabalho aos meus amados Pais, Francisco Silva Gomes e Gilda Maria de Pina por estarem sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis dessa graduação. Sem seus sorrisos diários e sua vontade de ajudar, é certo que esse trabalho não daria bons frutos. Prometo tentar retribuir o máximo que conseguir, enquanto respirar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me confortar nos momentos em que estive sozinho, algumas vezes o caminho se mostra tortuoso, e precisamos de um pouco de fé para nos fazer acreditar que é possível atravessá-lo.

A minha família, que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis, em especial a minha mãe que foi fundamental na construção do meu caráter e que sempre me confortou e serviu de alicerce nos momentos que mais precisei.

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Paz, que me proporcionou a incrível oportunidade de iniciar na pesquisa científica e me forneceu uma grandiosa estrutura e conhecimento, tanto em sala de aula como professora quanto em laboratório como orientadora. Além disso, também contribuiu para entender a importância do conhecimento acadêmico para vida.

Ao meu coorientador MSc. Alan Albuquerque, que sempre se mostrou disposto e apto em me ajudar nesta pesquisa, nossas conversas e discussões sobre o tema sempre geraram boas ideias para o trabalho.

Aos Professores da Faculdade de Engenharia de Materiais, pois mesmo com todas as dificuldades que nosso campus universitário passou ou vem passando, sempre se mostraram ávidos em ensinar e contribuir para a formação de bons engenheiros de materiais, espero que um dia eles sejam recompensados pelos seus esforços com o reconhecimento que eles merecem.

Ao Laboratório de Caracterização Mineral, onde trabalhei três anos dessa graduação, pela infraestrutura e qualidade disponibilizada, graças principalmente a supervisão dos Professores Simone Paz e Rômulo Angélica, que conseguiram ao longo dos anos transformar esse laboratório em referência para toda Universidade Federal do Pará.

Aos meus amigos do Laboratório de Caracterização Mineral: Alan, Paulo Victor, Andréia, Rebeca, Aldemir, Caio, Dimi, Bruna Senna, Bruna Gomes, Igo, Marcos, David, Daniel, Andreo, Lesley, Alcineide e Maurício, por todo apoio tanto nos bons momentos quanto nos momentos difíceis e por toda colaboração nas inúmeras atividades desempenhadas. Creio que o futuro reserva bons frutos a todos vocês.

Aos meus amigos e companheiros de trabalhos acadêmicos da graduação: Roberto, Edinaldo, Diogo e Mário, pois todos nós precisamos de pessoas com quem contar ao longo de uma graduação e, bom... eles foram essas pessoas. Espero que todos consigam alcançar seus objetivos, seja na academia ou na iniciativa privada.

Aos demais colegas de classe do curso, que durante a graduação se fizeram mais do que

amigos, tornaram-se minha segunda família, mesmo com os cinco anos de curso ainda parece que os conheci ontem, realmente vou sentir muita saudade dos bons momentos que passei com eles, festas, congressos, encontros para estudar, reclamar de provas, enfim... espero que todos tenham um futuro brilhante pela frente.

A biblioteca do Campus Universitário de Ananindeua Benedicto Monterio, gerenciada pelo bibliotecário Erick Pires, que sempre me ajudou quando necessitava de bons livros, ou mesmo em diversas dúvidas acadêmicas, principalmente na estrutura deste TCC.

A Direção do Campus Universitário de Ananindeua, sob a coordenação do prof. Francivaldo, que sempre se mostrou disposto a ajudar quando necessitávamos, desde o auxílio para viagens acadêmicas até a resolução de problemas corriqueiros da faculdade.

Aos demais laboratórios da Universidade Federal do Pará, que me ajudaram em algumas análises essenciais para uma boa discussão neste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta na minha trajetória durante a graduação e/ou para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais  
volta ao seu tamanho original.”

**Albert Einstein**

## RESUMO

O Brasil é reconhecido mundialmente pela sua aptidão agrícola e florestal, porém sua baixa fertilidade de solos e insuficiência na produção de fertilizantes faz com que se recorra à importação, colocando o país entre os maiores consumidores mundiais de fertilizantes. Adicionalmente, temos a região amazônica como uma das maiores produtoras de biomassas, tal como coco e castanha-do-Pará, o que tem gerado uma grande quantidade de resíduos agrícolas. Estes resíduos apresentam grande potencial para serem utilizados na indústria como fonte de energia e seu coproduto da combustão, sob a forma de cinzas, pode ser aproveitado como fonte de nutrientes para plantas. Ao longo da história, as cinzas vegetais têm sido utilizadas como fonte alternativa de nutrientes para a agricultura, porém a sua variabilidade composicional pode limitar a sua aplicação. Neste contexto, com a finalidade de avaliar o potencial energético e fertilizante das biomassas e cinzas derivadas do endocarpo do coco-da-baía e do pericarpo (ouriço) e endocarpo da castanha-do-Pará foram aplicadas técnicas de caracterização química, mineralógica, morfológica e térmica; e para fins de comparação, caracterizou-se também a madeira do eucalipto. A análise química imediata (AQI) e poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) revelaram que os resíduos das biomassas de coco-da-baía e castanha-do-Pará têm potencial para utilização industrial como fonte de energia e as suas cinzas, com rendimento entre 0,23 e 6,33, apresentam capacidade nutritiva para as plantas, pois as análises químicas e mineralógica por difração de raios X (DRX) combinadas com a análises por fluorescência de raios X (FRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) demonstraram que as cinzas são ricas em compostos de potássio, fósforo e cálcio. Assim, a utilização de resíduos de biomassas e suas cinzas representam uma alternativa sustentável e economicamente viável para o país, uma vez os resíduos de biomassa da indústria alimentícia podem ser um fator que venha a aumentar a matriz energética e reduzir a grande dependência da importação de matérias-primas para a produção de fertilizante.

Palavras-chave: Biomassa, cinza, fertilizante.

## ABSTRACT

Brazil is recognized worldwide for its agricultural and forestry suitability, but its low soil fertility and inadequate fertilizer production make it resort to imports, placing it among the world's largest consumers of fertilizers. In addition, we have the Amazon Region as one of the largest producers of biomass, such as Brazil's coconut and Brazil nuts, which generated a large amount of agricultural waste. These wastes have great potential for use in industry as a source of energy and their ash co-combustion product can be used as a source of nutrients for plants. Throughout history, vegetable ash has been used as an alternative source of nutrients for agriculture, but its compositional variability may limit its application. In this context, with the objective of evaluating the energetic and fertilizing potential of the biomass and ashes derived from the coconut bay endocarp and the Brazil nut pericarp and endocarp, chemical, mineralogical and morphological characterization techniques were applied. and thermal, and for comparison purposes, eucalyptus wood was also characterized immediate (ICA) and upper (UHA) and lower (LHA) heat analysis revealed that the residues of coconut and Brazil nut biomass have potential for industrial use as a source of energy and ashes, with yield between 0.23 and 6.33, have nutritional capacity for plants, because chemical and mineralogical X-ray diffraction (XRD) analyzes combined with X-ray fluorescence (XRF) and scanning electron microscopy (SEM) showed that the ashes are rich in potassium, phosphorus and calcium compounds. Thus, the use of biomass residues and their ashes represents a sustainable and economically viable alternative for the country, since primary bioenergy production competes with food supply and there is a heavy dependence on the importation of raw materials for production of fertilizers.

Keywords: Biomass, ashes, fertilizers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição dos componentes orgânicos da biomassa.....	21
Figura 2 – Consumo de Biomassa no mundo (PJ) .....	23
Figura 3 – Partes do coco.....	26
Figura 4a – Castanheira-do-Pará.....	31
Figura 4b – Ouriço.....	31
Figura 4c – Castanha-do-Pará.....	31
Figura 5 – Formações compactas de Castanheiras-do-Brasil na região amazônica.....	32
Figura 6 – Classificação das cinzas e biomassa no sistema S, C, K e CK.....	41
Figura 7 – Ciclo sustentável das cinzas.....	45
Figura 8 – Formação das cinzas e fundo e volantes.....	45
Figura 9 – Preparação das amostras para análise .....	47
Figura 10a – Forno tipo mufla onde foram realizadas as análises de AQL.....	48
Figura 10b – Cinzas resultantes do final da análise de AQL.....	48
Figura 11 – Analisador Elementar.....	49
Figura 12a – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X.....	50
Figura 12b – Pastilha prensada.....	50
Figura 12c – Prensa.....	50
Figura 13a – Difratômetro de raios-X.....	51
Figura 13b – Porta-amostras com preenchimento <i>backloading</i> .....	51
Figura 13c – Acessórios para preparação da amostra.....	51
Figura 14 – Equipamento de Microscopia Óptica.....	52
Figura 15a – Metalizador.....	53
Figura 15b – Equipamento de EDS.....	53
Figura 15c – MEV.....	53
Figura 16 – Equipamento para análise Termogravimétrica.....	54
Figura 17a – Espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier.....	55
Figura 17b – Análise de refletância total atenuada.....	55
Figura 18 – Bomba Calorimétrica.....	55
Figura 19 – Comparação da composição imediata das biomassas do trabalho com outras biomassas da literatura.....	57

Figura 20 – Comparação da composição final das biomassas do trabalho com outras biomassas da literatura.....	58
Figura 21 – Classificação das cinzas.....	60
Figura 22 – Padrões difratométricos das quatro biomassas <i>in natura</i> .....	61
Figura 23 – Padrões difratométricos dos carvões produzidos a partir das quatro Biomassas: Eucalipto (EUCA-C), endocarpo do coco (COCE-C), pericarpo (CDPP-C) e endocarpo da Castanha-do-pará (CDPE-C).....	62
Figura 24 – Padrões difratométricos das cinzas produzidos a partir das quatro Biomassas: Eucalipto (EUCA-C), endocarpo do coco (COCE-C), pericarpo (CDPP-C) e endocarpo da Castanha-do-pará (CDPE-C).....	63
Figura 25 – Análise Microscopia Óptica das cinzas das quatro biomassas.....	64
Figura 26a – Microscopia Eletrônica por Varredura de CDPE-Cz.....	66
Figura 26b – Microscopia Eletrônica por Varredura de CDPE-Cz.....	66
Figura 26c – Microscopia Eletrônica por Varredura de CDPP-Cz.....	66
Figura 26d – Microscopia Eletrônica por Varredura de CDPP-Cz.....	66
Figura 26e – Microscopia Eletrônica por Varredura de COCE-Cz.....	66
Figura 26f – Microscopia Eletrônica por Varredura de COCE-Cz.....	66
Figura 26g – Microscopia Eletrônica por Varredura de EUCA-Cz.....	66
Figura 26h – Microscopia Eletrônica por Varredura de EUCA-Cz.....	66
Figura 27 – Análises termogravimétricas das biomassas.....	68
Figura 28 – Espectrogramas das amostras na forma <i>in natura</i> .....	69
Figura 29 – Espectrogramas das amostras na forma de carvão.....	70
Figura 30 – Espectrogramas das amostras na forma de cinza.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da biomassa.....	18
Tabela 2 – Matriz energética brasileira (%) .....	24
Tabela 3 – Consumo de Biomassa nos principais setores do País (%) .....	24
Tabela 4 – Características das espécies de coqueiro Typicar, Híbrida e Nana.....	25
Tabela 5 – Características de alguns fertilizantes comerciais.....	35
Tabela 6 – Disponibilidade de nutrientes no solo.....	36
Tabela 7 – Classificação dos fertilizantes de acordo com sua composição.....	37
Tabela 8 – Consumo e produção de fertilizantes no Brasil.....	39
Tabela 9 – Diferenças dos conceitos dos constituintes inorgânicos das biomassas.....	40
Tabela 10 – Classificação das cinzas industriais.....	44
Tabela 11 – Características das biomassas estudadas no trabalho.....	46
Tabela 12 – Análises realizadas nas amostras.....	47
Tabela 13 – Composição Química Imediata das biomassas.....	57
Tabela 14 – Composição química final das biomassas.....	58
Tabela 15 – Composição química elementar das cinzas das biomassas.....	59
Tabela 16 – Perda de massa nas principais temperaturas de degradação da biomassa.....	67
Tabela 17 – Resultados do Poder Calorífico (em base seca) das biomassas.....	71
Tabela 18 – Poder Calorífico Superior de diversas biomassas.....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção de coco no mundo (2017) .....	27
Gráfico 2 – Produção de coco no Brasil (2017) .....	28
Gráfico 3 – Produção de coco no Pará (2017) .....	29
Gráfico 4 – Produção de castanha-do-Pará no Mundo (2017) .....	32
Gráfico 5 – Produção de castanha-do-Pará no Brasil (2017) .....	33
Gráfico 6 – Produção de castanha-do-Pará no Pará (2017) .....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.2.1	Objetivo geral .....	17
1.2.2	Objetivos específicos .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Biomassa .....</b>	<b>18</b>
2.1.1	Conceito.....	18
2.1.2	Classificação das biomassas .....	18
2.1.3	Composição química dos componentes orgânicos da biomassa.....	19
2.1.4	Aproveitamentos da biomassa .....	21
2.1.5	Consumo de Biomassa no mundo.....	23
2.1.6	Consumo de Biomassa no Brasil .....	23
<b>2.2</b>	<b>Biomassas Amazônicas .....</b>	<b>24</b>
2.2.1	Panorama geral do coco.....	24
2.2.2	Panorama geral da Castanha-do-pará .....	28
<b>2.3</b>	<b>Fertilizantes .....</b>	<b>32</b>
2.3.1	Conceito.....	33
2.3.2	Características.....	33
2.3.3	Fertilizantes NPK.....	34
2.3.4	Classificação dos fertilizantes.....	35
2.3.5	Consumo, importação e produção de nutrientes (PK) .....	36
<b>2.4</b>	<b>Cinzas Vegetais .....</b>	<b>38</b>
2.4.1	Conceitos e características .....	38
2.4.2	Classificação das cinzas.....	39
<b>2.5</b>	<b>Utilização das cinzas .....</b>	<b>41</b>
2.5.1	Construção civil .....	41
2.5.2	Adsorventes .....	41
2.5.3	Fertilizantes.....	41

<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>46</b>
3.2.1	Composição Química .....	46
3.2.2	Análise Mineralógica .....	48
3.2.3	Composição Morfológica .....	49
3.2.4	Análises Térmicas .....	51
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Análises de Composição Química</b> .....	<b>54</b>
4.1.1	Análise Química Imediata das biomassas .....	54
4.1.2	Análise Química Final das biomassas .....	56
4.1.3	Análise Química Elementar das cinzas .....	57
<b>4.2</b>	<b>Análise Mineralógica</b> .....	<b>58</b>
4.2.1	Análise Mineralógica das Biomassas .....	58
4.2.2	Análise Mineralógica dos Carvões .....	59
4.2.3	Análise Mineralógica das Cinzas .....	60
<b>4.3</b>	<b>Análises Morfológicas das cinzas</b> .....	<b>61</b>
4.3.1	Análise Microscopia Óptica .....	61
4.3.2	Microscopia Eletrônica de Varredura das Cinzas .....	62
<b>4.4</b>	<b>Análises Térmicas das Amostras</b> .....	<b>65</b>
4.4.1	Análise Termogravimétrica .....	65
4.4.2	Identificação dos grupos funcionais .....	66
4.4.3	Poder Calorífico Superior e Inferior das biomassas .....	69
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos e o desenvolvimento sustentável no Brasil precisam coexistir. Para isso, diversas políticas de gestão de recursos naturais vêm ganhando força, dentre elas o reaproveitamento de resíduos de biomassas como fonte alternativa para a geração de biocombustíveis.

O emprego de biomassas na produção de energia é amplamente aceito tanto por sua capacidade de fazer frente à dependência de combustíveis fósseis quanto pela possibilidade de compensar a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. No entanto, o seu uso crescente tem contribuído para a geração de grandes volumes de cinzas, as quais, normalmente, têm sido pouco reaproveitadas.

Dentre as alternativas de reciclagem das cinzas vegetais destacam-se: o seu uso como adsorvente (FOO et al., 2009; QUIRANTES et al., 2017), material suplementar na construção civil (ELINWA et al. 2004; MARTIRENA et al., 2017) e, como principal aplicação, o uso na agricultura como fertilizante e/ou corretivo de solo, podendo, em alguns casos, superar os fertilizantes PK (potássio e fósforo) comerciais (PERSONEN, 2017).

Seu uso na agricultura é considerado por muitos como ambientalmente correto, porém, o teor de macro e micronutrientes pode variar de acordo com a espécie da biomassa, idade, clima e temperatura de pirólise do material, bem como com as condições de coleta e transporte da biomassa e suas cinzas (VASSILEV et al., 2014).

Nesse contexto, foram analisadas cinzas de biomassas agrícolas amazônicas, bem como seus carvões e biomassas *in natura*, com objetivo de avaliar seu potencial fertilizante. Além disso, foram também efetuadas análises com eucalipto, com o objetivo de comparar o potencial energético das biomassas agrícolas, com uma biomassa florestal.

### 1.1 Justificativa

O agronegócio é responsável por grande parte da movimentação do PIB (Produto interno bruto) do Brasil, com participação de ~23% desse total (CEPEA, 2018). Isso se deve em grande parte pela quantidade de áreas agricultáveis no país, tendo em vista que dos 4,9 bilhões de hectares (ha) de áreas agricultáveis no mundo, 5,82% pertence ao Brasil, o que representa uma área de 283,5 milhões de ha (CONTINI & MARTHA, 2010; FAO, 2019).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019), o desempenho e a participação do agronegócio no total exportado pelo Brasil tiveram um

aumento de 39,4% em dezembro de 2017 e 44,4% em dezembro de 2018 (MAPA, 2019), o que reforça o grande crescimento e a forte dependência do PIB brasileiro ao agronegócio (CHAVES et al., 2010).

O sucesso no agronegócio coloca o Brasil entre os maiores consumidores de fertilizantes do planeta, atrás apenas da China, EUA e Índia. Entretanto, a sua produção de fertilizantes não consegue acompanhar seu consumo, colocando o Brasil progressivamente mais dependente da importação deste produto, que em janeiro de 2019 alcançou 2.513 mil toneladas, o que indicou um aumento de 40,8% na importação em relação ao mesmo período no ano de 2018 (CELLA & ROSSI, 2010; KULAIF & GÓES, 2016; ANDA, 2019). O que tem motivado a busca por novas fontes de nutrientes (KULAIF & GÓES, 2016).

Nesse panorama, podemos encontrar estudos indicando o potencial de cinzas de biomassa como fonte de nutrientes para fertilizantes (SJAAK et al., 2008; OBERNBERGER & SUPANCIC, 2009), pois, essas cinzas tem demonstrado uma quantidade promissora de minerais ricos em potássio e fósforo, que são de suma importância para a produção de fertilizantes (VASSILEV et al., 2010). Entretanto, a quantidade e a variedade dessas cinzas dependem de diversas variáveis como: espécie do vegetal, parte do vegetal, do clima, do solo, entre outras variáveis, o que vai influenciar diretamente nas proporções dos nutrientes contidos nas cinzas dessa biomassa (DAROLT & OZAKI, 1991; VASSILEV et al., 2010).

Nessa conjuntura, temos a região amazônica, que possui uma grande produção de frutas tropicais, que são desenvolvidas em grande parte por sistemas agroflorestais, onde existe uma grande variedade de frutas sendo produzidas, com destaque para a castanha-do-Pará e o coco-da-baía com produção, no ano de 2017, de 16.972 e 186.628 mil toneladas, respectivamente (MIRANDA et al., 2002; SANTANA, 2004; ZAIA & GAMA, 2004; SIDRA, 2017). Esta produção tem gerado grandes quantidades de resíduos de primeira geração que infelizmente são depositados no meio ambiente, os quais, em grande parte, possuem potencialidade como fonte de energia (RIBEIRO et al., 1999; NASCIMENTO et al., 2012).

Estes resíduos de primeira geração como o endocarpo do coco-da-baía, o ouriço e casca da castanha-do-Pará, além de possuírem aptidão para produção de energia (VIEIRA, 2012; PADDILLA et al., 2018), provavelmente possuem em seus resíduos de segunda geração, as cinzas, uma quantidade em potencial de minerais contendo nutrientes como potássio, cálcio, fósforo, magnésio, entre outros nutrientes importantes para a agricultura.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar o potencial das cinzas geradas pelos resíduos de biomassa de duas espécies amazônicas *Bertholletia Excelsa* e *Cocos Nucifera*, como fonte alternativa de nutrientes para fins agronômicos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar a quantidade de umidade, materiais voláteis, carbono fixo, cinzas, poder calorífico e comportamento térmico do endocarpo e pericarpo de castanha-do-pará e do endocarpo do coco.
2. Caracterizar as fases mineralógicas presentes no endocarpo e pericarpo da castanha-do-pará, bem como, no endocarpo do coco, nas biomassas *in natura* de cada um dos materiais, e também seu carvão e cinzas.
3. Determinar e quantificar a composição químicas das cinzas das biomassas estudadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Biomassa

#### 2.1.1 Conceito

Biomassa é um termo usado para todo o material orgânico proveniente de plantas (incluindo algas, árvores e culturas) tendo como finalidade a produção de energia. Essa energia fica armazenada em plantas verdes que tem a capacidade de converter a luz solar em energia química através da fotossíntese (SHENA, 2015; ANEEL, 2017). Nesse sentido, a biomassa é utilizada principalmente na combustão direta em indústrias dos mais variados ramos. Entretanto, o uso da biomassa tem gerado uma grande quantidade resíduos no planeta, girando em torno de  $10^{10}$  toneladas por ano, os quais ainda não possuem uma destinação adequada (PAWAR et al., 2013).

#### 2.1.2 Classificação das biomassas

A biomassa pode ser classificada basicamente quanto a sua origem (Tabela 1) em: biomassa de origem agrícola, de origem floresta e de origem urbana (TOLEDO et., al 2012).

Tabela 1 – Classificação da biomassa

Biomassa	Fonte	Exemplos
Agrícola	Resíduos Agroindustriais	Bagaço de cana, casca de arroz e sabugo de milho
Florestal	Resíduos Florestais	Madeira e seu derivados
Urbana	Resíduos Urbanos	Lodo de esgoto, lixo urbano em geral

Fonte: TOLEDO et., al 2012 (modificada)

#### 2.1.2.1 Biomassa agrícola

A biomassa agrícola é aquela oriunda de atividades da colheita de produtos agroindustriais, como por exemplo: bagaço de cana, casca de arroz, sabugo de milho e casca de coco. Essa produção agrícola gera uma grande quantidade de resíduos que podem ser aproveitados energeticamente. Uma grande parcela dos recursos não aproveitados energeticamente encontra usos em ração animal ou em uso como fertilizante. O Brasil tem potencial para produzir mais de 298 milhões de toneladas por ano desses resíduos, além disso, este segmento pode ainda ser expandido através do emprego de outras fontes de biomassa,

necessitando, para tanto, de estudos de caracterização. (CORTEZ et al., 2005; PAWAR et al., 2013; BONASSA et al., 2018).

#### 2.1.2.2 Biomassa florestal

A biomassa florestal é aquela originária da madeira e derivados (folhas, galhos e material resultante de estocagem). No contexto brasileiro onde são produzidos 6 milhões de m<sup>3</sup> de resíduos florestais gerados nas florestas de pinus e eucalipto, essa biomassa tem se tornado uma fonte promissora, pois além de ser uma fonte alternativa de combustível para geração de energia elétrica, ela é renovável e pode ser disponibilizada localmente em vários municípios do país, somado a isso, ela ainda pode reduzir gastos com linhas de transmissão do local de geração até os consumidores finais. Nesse sentido, o Brasil se destaca por ser um país que apresenta grande produção tanto agrícola como florestal e gera resíduos em grandes quantidades que necessitam de destinação adequada (CORTEZ et al., 2005; GUO et al., 2014; BONASSA et al., 2018).

#### 2.1.2.3 Biomassa urbana

A biomassa urbana é comumente conhecida como lixo urbano ou resíduo urbanos sólidos (RUS), são os resíduos sólidos descartados da vida cotidiana e do trabalho das pessoas gerados em suas residências, estabelecimentos comerciais, instituições e empresas nas áreas urbanas, como: papel usado, latas e garrafas descartadas, restos de comida, entre outros itens. Os RUS podem ser divididos em matéria orgânica e inorgânica com base em propriedades químicas e biológicas. A parte orgânica do RUS inclui papel, madeira, têxteis, couro, óleo e assim por diante e a parte inorgânica do RUS consiste em metais, vidro, concreto, alvenaria e assim por diante. No Brasil, esse resíduo é geralmente transportado até grandes áreas abertas para serem despejados, nos chamados lixões. Esses RUS são descartados nessas grandes áreas e cobertos com camadas de terra, entretanto, corriqueiramente o lixo é descartado sem qualquer tipo de pré-seleção de materiais que poderiam ser reciclados (CORTEZ et al., 2005; LI et al., 2017; BONASSA et al., 2018).

#### 2.1.3 Composição química dos componentes orgânicos da biomassa

O conhecimento da composição química dos componentes orgânicos da biomassa é extremamente importante no desenvolvimento de processos para a produção de combustíveis e

produtos químicos derivados da biomassa. Nesse sentido, os principais compostos que formam a biomassa são: celulose, hemicelulose e lignina (SHARMA et al., 2015; SHENA, 2015).

#### 2.1.3.1 Celulose

A celulose (Figura 1) consiste em um polissacarídeo, de elevada massa molecular, constituído de D-glicose conectada através de ligações de  $\beta$ -1,4- glicosídicas. As fibras de celulose condicionam força mecânica à estrutura das plantas e correspondem a cerca de 40 a 50% do seu peso seco. A pirólise das cadeias de celulose gera principalmente aldeídos e cetonas de baixo peso molecular tais como, 5-hidroximetil-2-furaldeído e 1-hidroxiopropan-2-ona respectivamente. Outros compostos que também são gerados através de sua despolimerização são levoglucosano, levoglucosenona, furanos e furfurais (YAMAN, 2004; SHENA, 2015; BONASSA et al., 2018).

#### 2.1.3.2 Hemicelulose

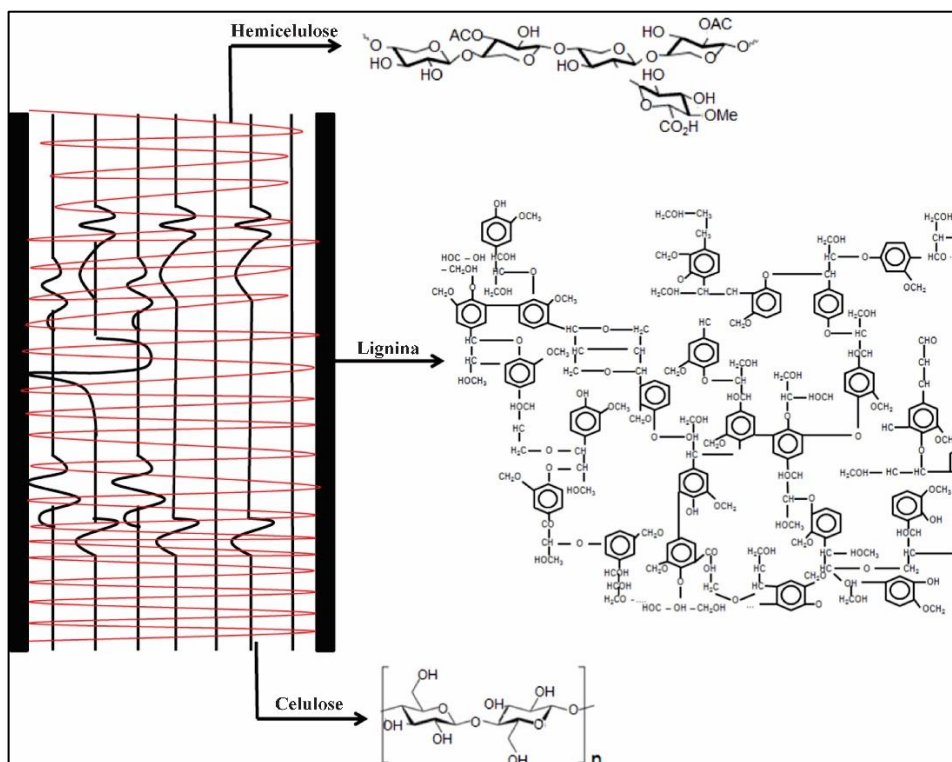
A hemicelulose (Figura 1) é um polissacarídeo amorfo, heterogêneo e ramificado, que é cercado pela lignina, esta por sua vez, fornece uma capa protetora para as cadeias de celulose. Em geral, as hemiceluloses são compostas por vários tipos de açúcares, tais como glucose, manose, galactose, xilose, arabinose, ácido 4-o-metil- glucurônico e de resíduos de ácido galacturônico. Todos os açúcares formadores da hemicelulose podem apresentar variações estruturais que geralmente ocorrem em sua cadeia lateral. A hemicelulose é responsável por aproximadamente 25 a 35% da composição da biomassa (YAMAN, 2004; SHENA, 2015; BONASSA et al., 2018).

#### 2.1.3.3 Lignina

A lignina (Figura 1) é uma resina reticulada, amorfa e sem estrutura exata. É composta por um conjunto irregular de diversos grupos polifenólicos ligados entre si de forma ramificada, apresentando assim, uma estrutura tridimensional complexa. Estes estão ligados predominantemente por ligações do tipo éter e carbono-carbono, ao contrário das ligações tipo acetal encontradas na celulose e hemicelulose. Também pode-se encontrar ligações covalentes entre a lignina e polissacáridos, o que aumenta fortemente a união adesiva entre fibras de celulose e hemicelulose com a lignina. A principal função da lignina é atuar como ligante na aglomeração dos componentes celulósicos e fibrosos. Na matéria vegetal, a lignina está presente tanto em biomassas resinosas, que são compostas por cerca de 23 a 33% de sua massa seca,

quanto em biomassas folhosas onde representam de 16 a 25% de sua massa (YAMAN, 2004; SHENA, 2015; BONASSA et al., 2018).

Figura 1 – Distribuição dos componentes orgânicos da biomassa



Fonte: BONASSA, 2018

#### 2.1.4 Aproveitamentos da biomassa

A biomassa na sua forma bruta não pode ser usada diretamente em muitas aplicações e são necessários processos de pré-tratamento e atualização. Além disso, é inconveniente e ineficiente armazenar e transportar a biomassa bruta sem algum tipo de pré-processamento e tratamento. Como resultado, os processos de pré-tratamento e modernização são necessários para melhorar a qualidade e a eficiência da biomassa em suas aplicações (MOUSA et al, 2016).

##### 2.1.4.1 Combustão direta

Combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões, fornos e caldeiras. Existem muitas vantagens na utilização da biomassa diretamente como combustível, por exemplo, as reduzidas emissões de poluentes. Além disso, as emissões de CO<sub>2</sub>, liberadas durante a queima de biomassa, podem ser consideradas praticamente nulas, pois esse gás pode ser reabsorvido no próximo ciclo de vida da planta, no processo de fotossíntese (COSTA, 2002).

#### 2.1.4.2 Torrefação

A Torrefação trata a biomassa termoquimicamente na ausência de oxigênio a temperaturas entre 200-300 ° C por períodos de permanência de 30-60 min. Durante esse processo, a biomassa se decompõe parcialmente, liberando voláteis e resultando em um sólido escurecido como produto (às vezes chamado de carvão). A redução de tamanho é uma questão importante devido à natureza fibrosa da biomassa, melhorar essa característica facilita seu armazenamento, locomoção e influi diretamente na redução da perda de matéria seca durante sua estocagem, com isso, ajuda a melhorar a qualidade do produto (BERGMAN, 2005).

#### 2.1.4.3 Pirólise

Pirólise ou carbonização é o mais comum e mais antigo processo de conversão de um combustível, normalmente da lenha (biomassa florestal) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético superior. O processo consiste em aquecer o material original normalmente por volta de 300 °C a 550 °C, em uma ínfima quantidade de ar, até que o que a quantidade de material volátil seja retirada. Seu principal produto é o carvão vegetal, que adquire uma densidade energética de duas a três vezes maior que a do material de origem, e consegue queimar em temperaturas muito mais elevadas (BERGMAN, 2005; SHARMA et al., 2015).

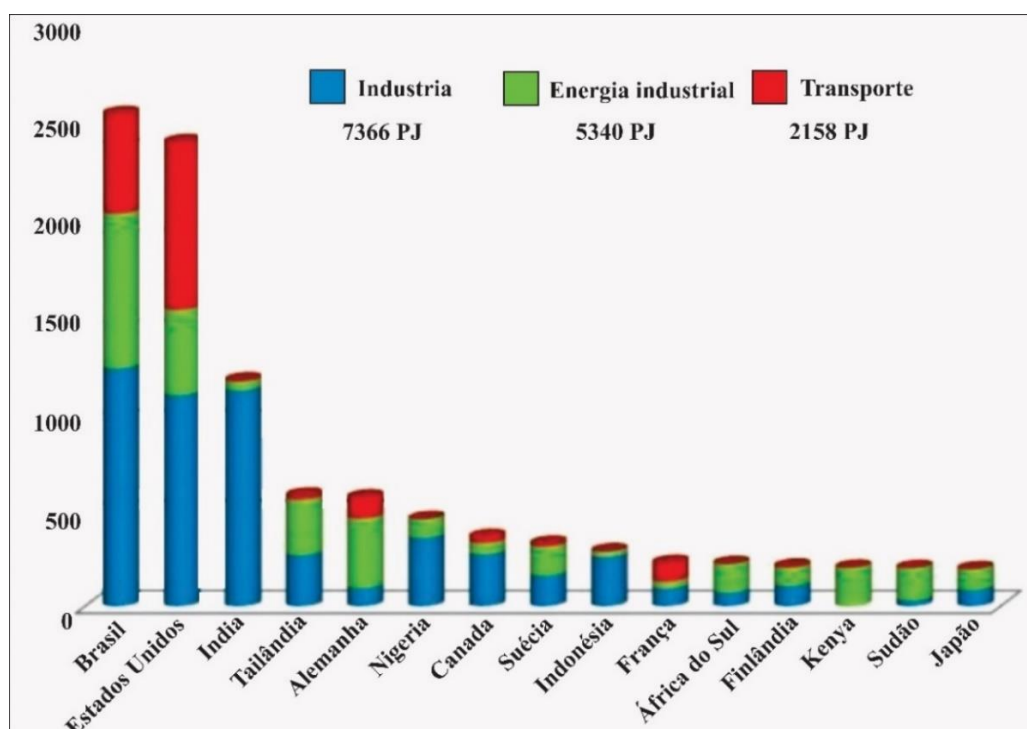
#### 2.1.4.4 Gaseificação

A gaseificação é um processo exotérmico em que combustível sólido, como por exemplo, a biomassa, é convertida em gás de baixa ou média capacidade calorífica. Os gaseificadores de leito fixo e fluidizado são os mais indicados para sistemas de produção de energia a partir de biomassa. O oxidante para o processo de gaseificação pode ser o ar atmosférico ou oxigênio puro. Os sistemas que utilizam oxigênio puro permitem produzir um gás de maior capacidade calorífica, sendo também mais rápida a sua produção, no entanto, os custos de produção aumentam devido a necessidade de oxigênio puro. A gaseificação oferece vantagens como: alta eficiência térmica, a energia produzida pela queima dos gases é limpa, os grãos não são contaminados por fumaça ou gases, a demanda por energia pode ser controlada, e conseqüentemente a taxa de gaseificação pode ser controlada (SILVA, et al., 2004, MOUSA et al., 2016).

### 2.1.5 Consumo de Biomassa no mundo

A produção total de energia a partir da biomassa no mundo é de 14864 PJ (petajoule), e o Brasil e Estados Unidos estão no topo da utilização desse material como fonte de energia (Figura 2). Os setores industriais utilizam cerca de 85% e o restante é utilizado no transporte. Embora a utilização da biomassa tenha muitos benefícios, tanto econômicos quanto ecológicos, a biomassa bruta sofre de seu baixo valor calórico, baixa densidade, baixa mobilidade, baixa densidade de energia, baixa eficiência de combustão, alto teor de umidade, alto conteúdo volátil, alto volume além de algumas questões problemáticas no transporte e armazenamento (MOUSA et al., 2016; IEA, 2018).

Figura 2 – Consumo de Biomassa no mundo (PJ)



Fonte: MOUSA, 2016

### 2.1.6 Consumo de Biomassa no Brasil

A matriz energética brasileira (Tabela 2) é predominantemente renovável, a biomassa é a terceira fonte mais utilizada no País, atrás apenas da hidráulica e gás natural. As fontes renováveis representam 80,4% da oferta interna de energia no Brasil, isso é resultado da soma dos montantes que são referentes a produção nacional somadas as importações, que são em grande parte de origem renovável (BEN, 2018). Os setores que mais utilizam biomassa no País são o setor industrial, alimentos e bebidas e transporte (Tabela 3).

Tabela 2 – Matriz energética brasileira (%)

Fonte de energia	2014	2015	2016	2017
Hidráulica	65,2	64,0	68,1	65,2
Gás Natural	13,0	12,9	9,1	10,5
Biomassa	7,4	8,0	8,2	8,2
Eólica	2,0	3,5	5,4	6,8
Carvão	4,3	4,5	4,2	4,1
Petróleo	5,7	4,8	2,4	2,5
Nuclear	2,5	2,4	2,6	2,5
Solar	0,0	0,01	0,01	0,13

Fonte: EPE, 2018

Tabela 3 – Consumo de Biomassa nos principais setores do País (%)

Setor	2014	2015	2016	2017
Setor energético	18,1	18,4	17,4	16,9
Residencial	9,6	9,5	9,2	9,2
Comercial e público	0,3	0,3	0,2	0,2
Agropecuário	3,9	4,0	3,7	4,5
Transportes	18,9	21,5	19,7	19,7
Industrial	49,2	46,4	49,7	49,5
Cimento	0,5	0,4	0,4	0,4
Ferro-gusa e aço	4,3	4,2	3,5	3,3
Ferro-ligas	0,7	0,6	0,6	0,7
Química	0,1	0,1	0,1	0,1
Alimentos e bebidas	26,7	24,7	28,0	27,6
Têxtil	0,1	0,1	0,1	0,1
Papel e celulose	11,4	11,7	12,7	13,1
Cerâmica	4,0	3,3	3,0	3,0
Outros	1,3	1,2	1,2	1,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: EPE, 2018

## 2.2 Biomassas Amazônicas

### 2.2.1 Panorama geral do coco

#### 2.2.1.1 Coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera*), é a planta mais onipresente na vegetação tropical do mundo antigo, é uma árvore originária de ilhas de clima tropical, localizadas ao longo dos oceanos Pacífico e Índico e consegue dominar mais de 30.000 ilhas que pontilham esses mares (ZIZUMBO,1996; NAYAR, 2017). Atualmente os coqueiros são encontrados principalmente

nas regiões do Sul e Sudeste Asiático, na América Latina, no Caribe e na África Tropical, especialmente ao longo da faixa litorânea das baixas latitudes do planeta, onde são encontradas as condições edafoclimáticas (solo e clima) ideais para o pleno desenvolvimento dessa espécie (NAYAR, 2017). Na América Latina o seu principal produtor é o Brasil, embora nesse País o gênero *Cocos* seja constituído apenas pela espécie *Cocos nucifera* L. que é composta no panorama agroindustrial principalmente pelas espécies *Typicar* e *Nana*, comumente chamadas de variedade gigante e anã respectivamente (FONTES, 2002; FAO, 2018).

A variedade gigante foi introduzida no Brasil em 1553 pelos portugueses no litoral baiano e a variedade anã entre 1925 e 1939, vindo do norte da Malásia. Essas espécies possuem características bastante distintas (Tabela 4), sendo a variedade *Nana*, mais recomendada para exploração comercial da produção, e a variedade *Typicar* para uso culinário e agroindustrial, e além dessas duas existe também a variedade Híbrida, que possui características intermediárias entre essas duas espécies (FONTES, 2002; BENASSI et al., 2006; ETENE, 2017).

Tabela 4 – Características das espécies de coqueiro *Typicar*, Híbrida e *Nana*

Cocos nucifera L.	Altura (m)	Produção (frutos/ano)	Tempo de vida (anos)	Produtividade (frutos/ha)	Crescimento	Principal aproveitamento
<i>Typicar</i>	35	60 – 80	60 - 80	10 mil	Lento	Albúmen Sólido
Híbrida	20	130 – 150	50 - 60	20 mil	Intermediário	Albúmen Sólido e líquido
<i>Nana</i>	10	150 – 200	30 - 40	40 mil	Rápido	Albúmen líquido

Fonte: FONTES (2002) & ETENE (2017)

#### 2.2.1.2 Coco-da-baía

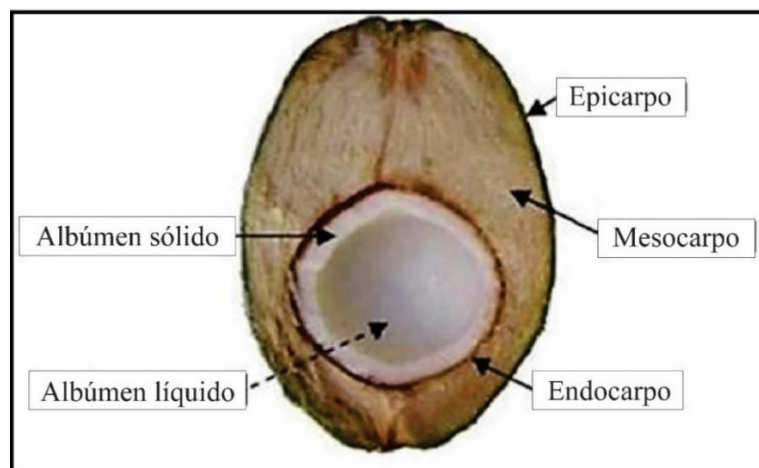
O fruto do coqueiro é o coco, que botanicamente é uma drupa (fruto carnoso que apresenta apenas uma semente que se encontra aderida ao endocarpo). Segundo FERRI (1973) e GOMES (2011) esse fruto pode ser estruturado nas seguintes partes: pericarpo, epicarpo, mesocarpo, endocarpo e albúmens (Figura 3).

- Pericarpo: é a parte do fruto que envolve a semente (epicarpo + mesocarpo + endocarpo);
- Epicarpo: é a parte externa do pericarpo, chamada de “casca” do fruto;
- Mesocarpo: é a camada que fica entre o epicarpo e o endocarpo (não considera a semente), em geral é a parte mais desenvolvida do fruto. No caso do coco se constitui de fibras;
- Endocarpo: é a parte mais interna do pericarpo. No caso do coco o endocarpo forma

a casca dura em torno da semente, possui três depressões circulares na base (buracos fechados, chamados carpelos) formando um triângulo, por onde sai o embrião;

- Albúmen sólido (endosperma): é um tecido contendo substâncias nutritivas na semente;
- Albúmen líquido: é a parte líquida do fruto, popularmente chamado e água de coco.

Figura 3 – Partes do coco

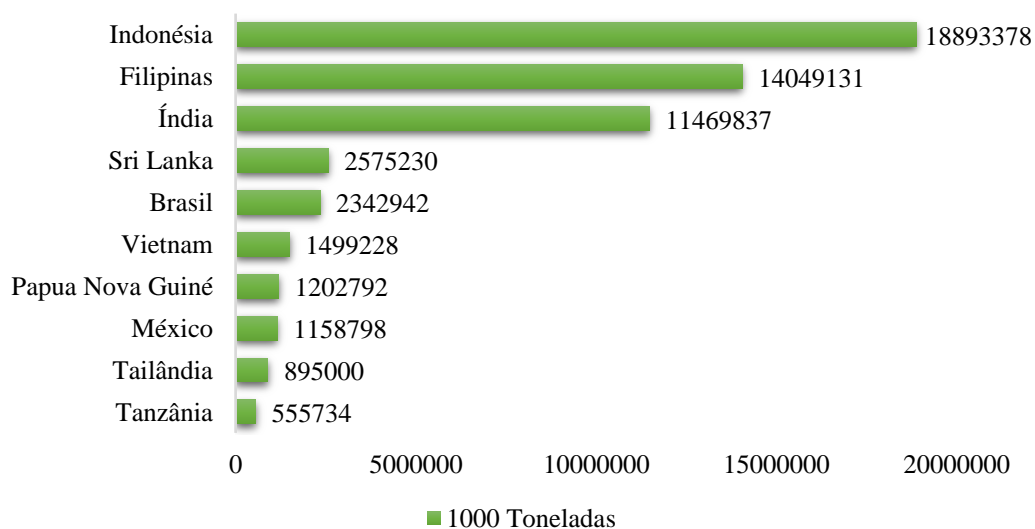


Fonte: BENASSI, 2006.

### 2.2.1.3 Produção de coco no mundo

Os cinco maiores produtores de coco são Indonésia, Filipinas, Índia, Sri Lanka e Brasil, esse último se encontra como o quinto maior produtor mundial de coco (Tabela 5), representando 3,8 % da produção mundial (MARTINS & JÚNIOR, 2010; FAO, 2018).

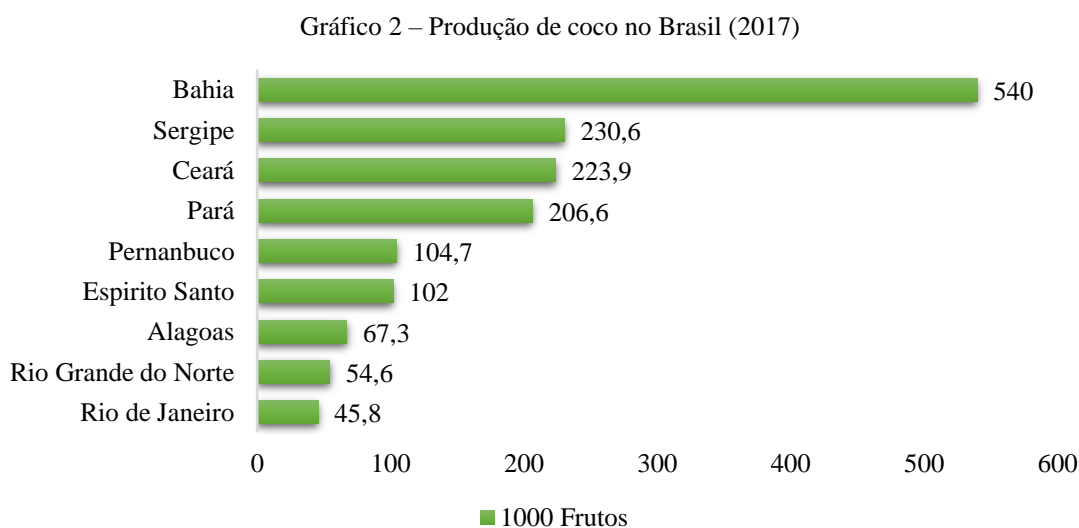
Gráfico 1 – Produção de coco no mundo (2017)



Fonte: FAO, 2018

#### 2.2.1.4 Produção de coco no Brasil

No Brasil a produção de coco vem ganhando bastante destaque no cenário mundial, essa produção vem aumentando principalmente em virtude dos avanços tecnológicos no agronegócio brasileiro, como: melhorias em técnicas de adubação, aprimoramento no manejo do solo e desenvolvimento de coqueiros com maior produtividade, graças a isso o Brasil teve um incremento de 164 % em sua produtividade, com uma diminuição de área de cultivo de 7 %, sendo a região amazônica e nordeste as principais responsáveis por essa produção. Na região Nordeste se destacam os Estados da Bahia, Sergipe e Ceará e na região amazônica o Estado do Pará (Tabela 6), entretanto, o Nordeste se recupera de uma diminuição na produção que ocorreu a partir de 2014, ocasionada pelo déficit hídrico frequente nessa localidade (ETENE, 2017; SIDRA, 2018; IBGE, 2019).



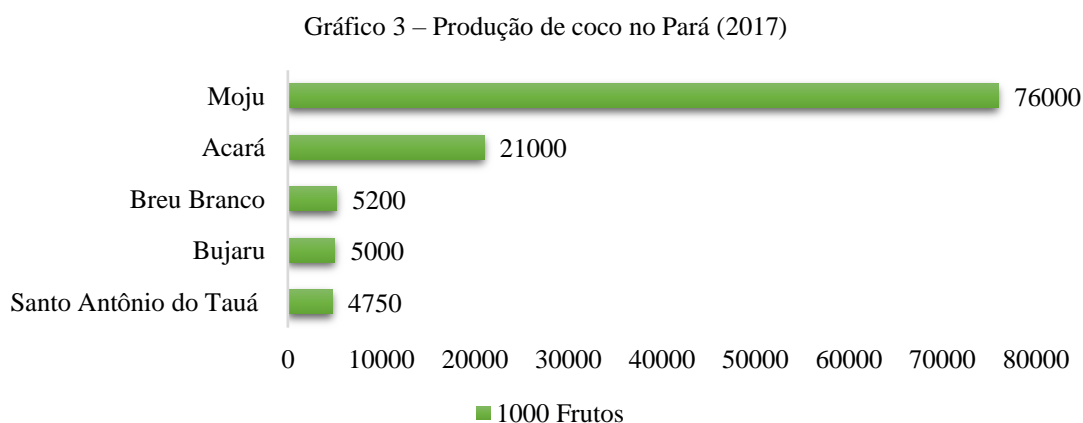
Fonte: IBGE/SIDRA, 2018

Na região nordeste, temos a Bahia como principal produtor de coco, representada pelo Município de Conde, localizado no Litoral Norte baiano, que se destaca como o maior produtor do Estado, localizado no perímetro irrigado instalado pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), sendo controlada pela empresa Frysk, que produz todas as variedades de coco do Brasil. No Ceará o Município de Paraipaba domina a produção de coco, localizado às margens do Rio Curu, onde os maiores cultivos do coco se encontram no perímetro irrigado Curu-Paraipaba, instalado pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), sendo controlada pelas empresas Dikoko e Ducoco, especialistas em produção de coqueiro anão. Em Petrolina (PE) comumente chamada de “capital das frutas” localiza-se o quarto maior produtor de coco, com uma produção de 63 mil frutos, onde grande parte da produção é

proveniente do perímetro irrigado Nilo Coelho, famosa pela produção de coqueiro anão, sendo controlada pela empresa AJA COCO (CAVALCANTE, 2015; ETENE, 2017; SIDRA, 2018).

#### 2.2.1.5 Produção de coco na região amazônica

Na região amazônica, temos o Município de Moju no Pará, que se destacou no ano de 2017, por deter a maior produção nacional de coco, nessa região se encontra a maior área de cultivo variedade híbrida, implantada pela empresa Sococo, com uma produção de 110 a 150 milhões de frutos por ano, inteiramente aproveitados em suas unidades industriais para a produção tanto de coco ralado e leite de coco, bem como de água de coco. Além de Moju são grandes produtores de coco no Pará (Tabela 7) os municípios de Ácara, Breu Branco, Bujaru e Santo Antônio do Tauá (CAVALCANTE, 2015; ETENE, 2017; SIDRA, 2018).



Fonte: IBGE/Sidra, 2018

### 2.2.2 Panorama geral da Castanha-do-pará

#### 2.2.2.1 Castanheira-do-Pará

A Castanheira-do-Pará (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) é também conhecida como castanheira verdadeira, castanheira, castanheira-do-Maranhão, castanheira-do-Brasil e castanheira-da-Amazônia é uma árvore de grande porte podendo medir até 60 m de altura, com diâmetro de 100 a 180 cm, originária da região amazônica conhecida por ser encontrada geralmente em solos desestruturados, drenados e argilosos ou argilo-arenosos, sob o clima quente e úmido, ou seja, tropicais chuvosos, o que é bastante comum na região da mata amazônica (MULLER et al.,1995; DONADIO, 2002; PENNACCHIO, 2006).

O cultivo dessa espécie (Figura 4a) tem grande significado no processo de ocupação de enormes vazios demográficos na região amazônica brasileira, somado a isso, ela é uma

excelente alternativa para reflorestamento de áreas degradadas de pastagens ou de cultivos anuais, tanto para a produção de frutos como para a extração de madeira (DONADIO, 2002; PENNACCHIO, 2006).

#### 2.2.2.2 Ouriço

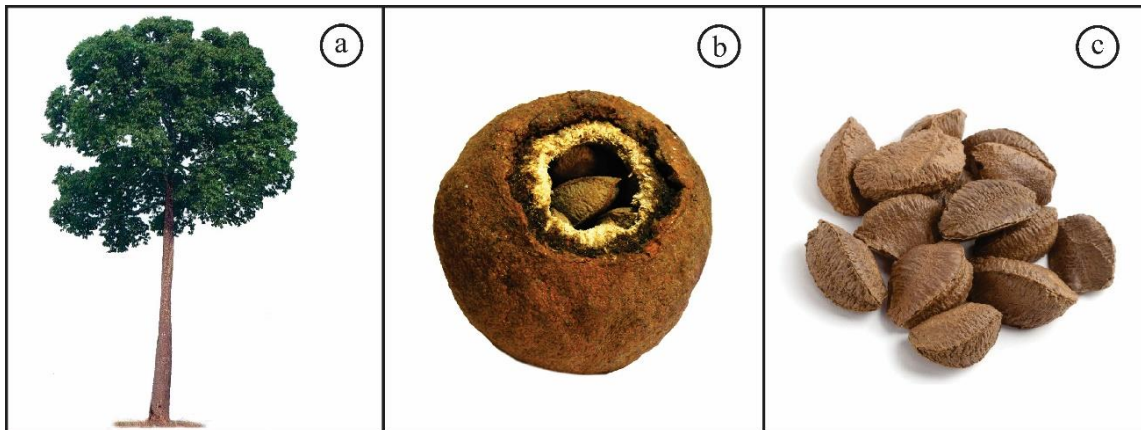
O fruto da castanheira-do-Pará é conhecido como ouriço (Figura 4b), e dependendo da estação a castanheira pode produzir entre 63 a 216 destes frutos, entretanto, essa quantidade varia bastante de uma área para outra. Esse ouriço não é coletado diretamente da castanheira, visto que, chegada o estágio do amadurecimento o fruto se desprende e é lançado ao solo, com a queda as sementes são liberadas no interior do fruto, isso acontece porque o opérculo, estrutura comum em frutos do tipo pixídio é rompido, e nesse processo pode ocorrer a entrada de água ou umidade, o que contribui posteriormente para a perda do produto por deterioração e ataque de fungos (MORITZ, 1984; SILVA, 2014).

O formato do ouriço é praticamente esférico e possui uma cápsula globosa e indeiscente (que não se abre espontaneamente), pois é envolvido com uma bicamada de casca lenhosa (Pericarpo), sendo a interna mais dura. O diâmetro do ouriço pode variar entre 8 e 16 cm de diâmetro e seu peso varia de 500 g a 2 kg, com um peso médio de aproximadamente de 750 g, dentro desse fruto são encontradas as sementes, o número de semente varia entre 8 a 28 unidades, essas sementes estão distribuídas semelhantemente a gomos de uma tangerina, ligadas por um material fibroso e desidratado (MORITZ, 1984; PACHECO & SCUSSEL, 2006).

#### 2.2.2.3 Castanha-do-pará

A castanha-do-Pará (Figura 4c) é a semente do fruto e apresenta um formato triangular anguloso, com comprimento entre 4 e 7 cm e uma casca lenhosa (endocarpo), dura e rugosa. Essa casca que recobre a amêndoa corresponde a aproximadamente 50 % do peso da semente e 12 % do peso dos frutos aproximadamente quando somadas. As amêndoas possuem entre 12% e 13 % do peso dos frutos, sendo que cada semente tem um peso médio próximo de 8,2 g. Essas amêndoas são altamente nutritivas, pois possuem um valor proteico bastante expressivo, razão pela qual são conhecidas como "carne vegetal". A proteína contida em duas amêndoas equivale à de um ovo (MORITZ, 1984; SILVA, 2014).

Figura 4 – (a) Castanheira-do-Pará; (b) Ouriço e (c) Castanha-do-Pará



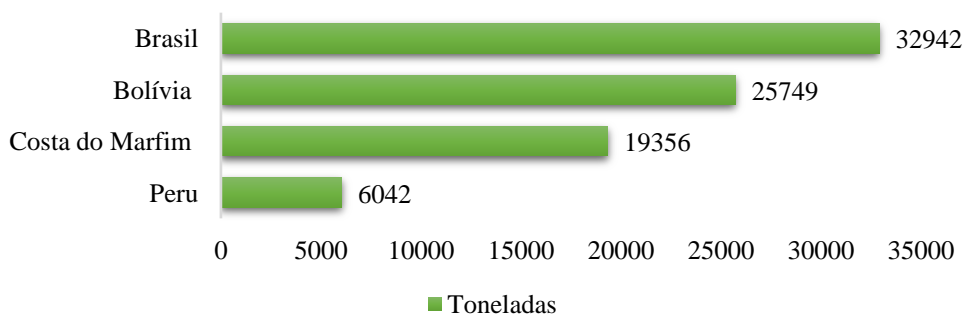
Fonte: Google imagens

#### 2.2.2.4 Produção de castanha-do-pará na região amazônica

A castanheira-do-Pará possui o segundo produto florestal não madeireiro de maior importância econômica para a região amazônica, cuja produção é praticamente oriunda da atividade extrativista. A *Bertholletia excelsa* é comercializada internacionalmente, sendo o Brasil e a Bolívia (Tabela 8) responsáveis por mais de 80% da sua produção mundial no ano de 2017 (CONAB, 2015; FAO, 2019).

O mercado mundial da castanha é composto por dois produtos, a castanha descascada e a castanha com casca. A Bolívia controla o mercado de castanha descascada, que é um produto de maior valor unitário e cujo mercado está em expansão correspondendo a aproximadamente 60,4% da participação no mercado mundial, enquanto o Brasil é responsável por 4,5% (FAO, 2017), de modo que o Brasil domina o nicho de castanhas com casca, um produto de menor valor agregado, cujo mercado está em declínio e que é mais vulnerável às barreiras fitossanitárias, nesse sentido grande parte das castanhas são exportadas para Bolívia para driblar as grandes restrições impostas aos agricultores (BOJANIC, 2005).

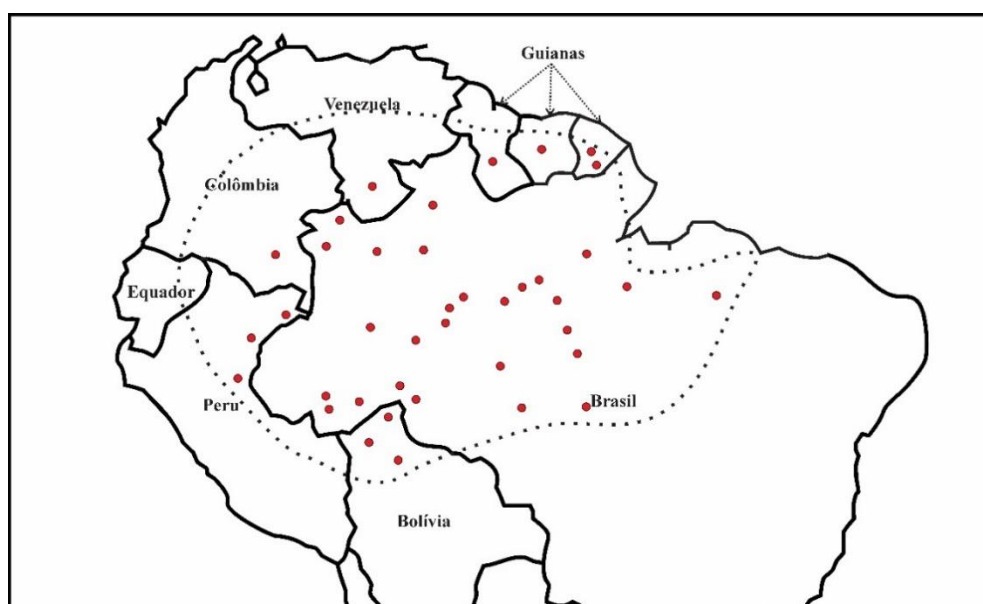
Gráfico 4 – Produção de castanha-do-Pará no Mundo (2017)



Fonte: FAO, 2017.

A castanheira-do-Pará é encontrada em praticamente toda a região amazônica (Figura 5) da América do Sul (PACHECO & SCUSSEL, 2006), ocupando uma superfície de aproximadamente 325 milhões de hectares: nas Guianas; sudeste da Colômbia; sul da Venezuela, no Alto Orinoco; leste do Peru, no Departamento de Madre de Dios e norte da Bolívia, no Departamento de Pando. Mas é em solo brasileiro que se concentram a maior parte das formações compactas desta espécie, localizadas nos Estados do Pará (rios Trombetas, Moju, Jari, Tapajós, Xingu, Tocantins e afluentes), Amazonas (rios Amazonas, Madeira, Solimões, Negro, Purus e afluentes), Acre (rios Purus, Acre, Iaco e Abunã), Maranhão (área constituinte da Amazônia legal) e Mato Grosso (rio Araguaia), incluem-se também os territórios do Amapá, Rondônia e Roraima. (ORTIZ, 2002; SALOMAO et al., 2006; PENNACCHIO, 2006).

Figura 5 – Formações compactas de Castanheiras-do-Brasil na região amazônica



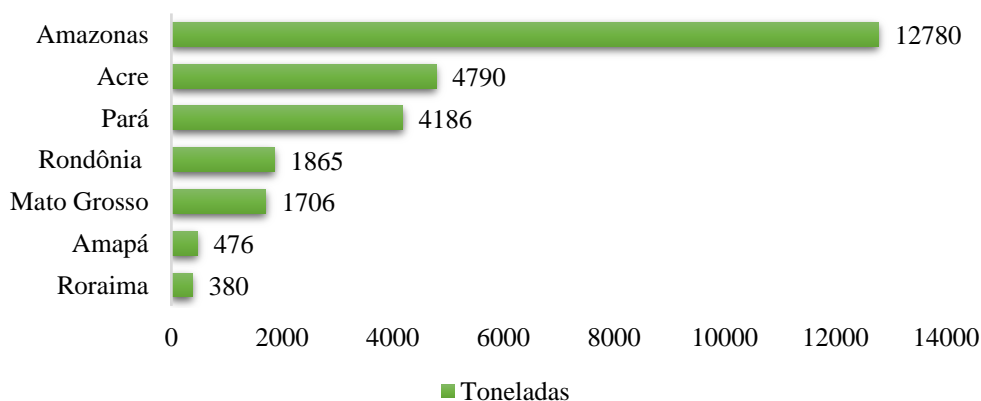
Fonte: PENNACCHIO, 2006 (adaptada)

#### 2.2.2.5 Produção de castanha-do-Pará no Brasil

A castanha-do-Pará foi muito importante na economia da Amazônia nos anos de 1920 e 1930 substituindo a borracha (*Hevea brasiliensis*) que naquele período já não era tão competitiva, face ao preço praticado pelos seringais asiáticos. Nos anos de 1960 a 1980 a castanha-do-Pará passou a ser um produto comercializado especialmente no mercado interno sob o nome de castanha-do-Pará, nome advindo do grande potencial que o Estado do Pará na sua produção. Atualmente, o Estado do Amazonas detém a maior produção da castanha-do-Pará no Brasil (Tabela 9), com destaque para os municípios de Humaitá e Coari. No Acre os municípios de Sena Madureira, Rio Branco e Brasiléia são os principais produtores, enquanto

no Pará sobressaem os municípios de Oriximiná e Óbidos, nesse panorama a castanha-do-Pará é economicamente um dos mais importantes produtos naturais para esses Estados, devido a sua utilização em grande escala na indústria de cosméticos: fabricação de óleos, perfumes, sabonetes e outros derivados (BARBOSA & MORET, 2015; SIDRA, 2018).

Gráfico 5 – Produção de castanha-do-Pará no Brasil (2017)

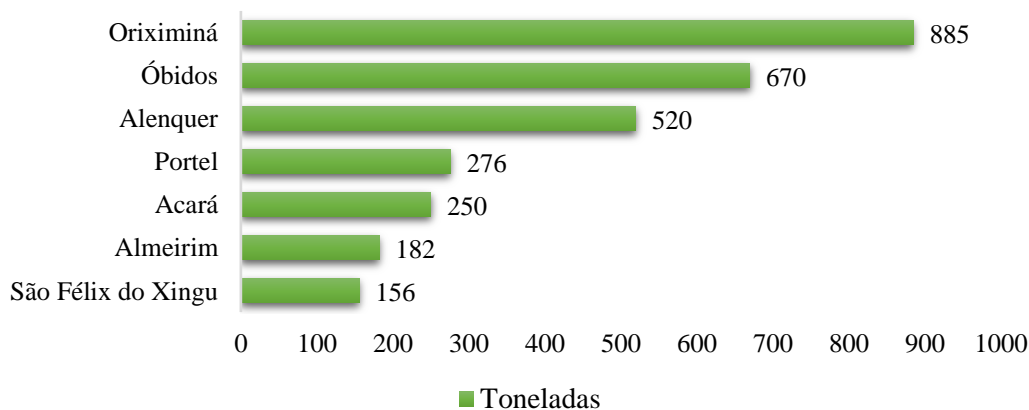


Fonte: IBGE/SIDRA, 2018

#### 2.2.2.6 Produção de castanha-do-Pará no Pará

De acordo com o SIDRA (2018), do total de 32.942 toneladas de castanha produzidas em 2017, o estado do Pará contou com uma produção de 4.186 toneladas. Os maiores produtores no estado foram: Oriximiná (885 t), Óbidos (670 t), Alenquer (520 t) e Portel (276 t) que configuraram na lista das 25 cidades com maior produção no Brasil (Tabela 10).

Gráfico 6 – Produção de castanha-do-Pará no Pará (2017)



Fonte: IBGE/SIDRA, 2018

## 2.3 Fertilizantes

### 2.3.1 Conceito

Para KOLI (2019) Os fertilizantes são materiais inorgânicos com alto valor analítico e composição definida que podem fornecer nutrientes e oligoelementos, geralmente aplicados ao solo para incentivar o crescimento das culturas. No Brasil os fertilizantes (segundo a lei nº 4.954, de 14 de janeiro de 2014) são conceituados como substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas (BRASIL, 2014).

### 2.3.2 Características

Na agricultura intensiva transformou muitos solos em substratos muito pobres, exigindo a aplicação de nutrientes. Logo, respostas a essas condições limitantes de nutrientes têm sido investigadas há décadas na esperança de reduzir as necessidades nutricionais das culturas. Suas características dependem essencialmente do tipo de solo e do clima da região onde serão utilizados (EPSTEIN, 1965, KANT et al., 2013). Abaixo (Tabela 5) temos as características de alguns dos principais fertilizantes comerciais.

Tabela 5 – Características de alguns fertilizantes comerciais

(Continua)

Fertilizante	Fórmulas químicas	Classificação N – P – K	Outros nutrientes	Reação do solo	Solubilidade (g por 100 ml de água)			
					0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
Ureia	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45-0-0	-	Ácida	-	78	-	-
Nitrato de amônio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	34-0-0	-	Ácida	118	152	192	242
Sulfato de amônia	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20-0-0	24% S	Ácida	71	73	75	78
Nitrato de cálcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	15-0-0	17% Ca	Básica	102	112	121	150
Fosfato monoamônico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	11-48-0	1,4% Ca 2,6% S	Ácida	23	29	37	46.
Fosfato de diamônio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	21-53-0	-	Ácida	43	-	-	-
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0-52-0	-	Muito ácido	548	-	-	-
Muriato de potassa	KCl	0-0-62	-	Neutra	28	31	34	37

Tabela 5 – Características de alguns fertilizantes comerciais

(Conclusão)

Fertilizante	Fórmulas químicas	Classificação N – P – K	Outros nutrientes	Reação do solo	Solubilidade (g por 100 ml de água)			
					0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>	13-0-44	-	Básica	13	21	31	45
Sulfato de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0-0-53	8% S	Neutra	7	9	11	13

Fonte: KANT et al., 2013

### 2.3.3 Fertilizantes NPK

Os fertilizantes mais comuns no uso atual são misturas de compostos contendo três elementos: nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K), convencionalmente expressos em termos das respectivas porcentagens de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Eles compreendem os três principais macronutrientes absorvidos do solo (KANT et al., 2013).

#### 2.3.3.1 Nutrientes

As plantas absorvem nutrientes de duas maneiras, a primeira é através da fotossíntese, onde o CO<sub>2</sub> é absorvido e posteriormente reage com água na presença da energia solar, para sintetizar açúcares essenciais para sua vida. E a segunda forma de absorver nutrientes é através do solo onde uma variedade de elementos são absorvidos com auxílio de suas raízes, dos quais 18 são considerados nutrientes essenciais para o seu crescimento. A capacidade do solo de fornecer esses elementos às plantas em quantidades ideais para promover seu crescimento determina sua fertilidade química. Embora alguns nutrientes essenciais possam estar disponíveis em quantidades suficientes, um ou outro dos nutrientes pode ser insuficiente e, portanto, constituem o fator limitado no solo (HILLEL, 2008).

Segundo HILLEL (2008) dos 18 elementos que se sabe serem necessários para o crescimento das plantas, 9 são necessários em quantidades relativamente grandes e, portanto, são chamados macronutrientes, e 9 são necessários em quantidades relativamente pequenas e são chamados micronutrientes:

- Os macronutrientes são: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).
- Os micronutrientes são: ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), cloro (Cl), molibdênio (Mo), cobalto (Co) e níquel (Ni).

Para estarem disponíveis para as plantas, esses elementos devem estar presentes na solução do solo em concentração suficiente, em regiões do solo acessíveis às raízes das plantas. Em princípio, esses nutrientes podem estar presentes no solo de três formas possíveis (Tabela 6):

Tabela 6 – Disponibilidade de nutrientes no solo

Forma	Característica
Biodisponível	Presente na solução do solo
Reserva hábil	Adsorvida no complexo de trocas do solo e / ou presente na matéria orgânica rapidamente decomposta;
Reserva estável	Presente em minerais do solo relativamente intempéries e em compostos orgânicos lentamente decompostos.

Fonte: HILLEEL, 2008

## 2.3.4 Classificação dos fertilizantes

### 2.3.4.1 Classificação dos fertilizantes em termos de composição

Conforme dito por KOLI (2019) os fertilizantes podem ser classificados em três composições (Tabela 7):

Tabela 7 – Classificação dos fertilizantes de acordo com sua composição

Fertilizante	Característica
Fertilizantes retos	Fornecem apenas um nutriente primário da planta, ou seja, nitrogênio, fósforo ou potássio. Por exemplo: uréia, sulfato de amônio, sulfato de potássio e cloreto de potássio.
Fertilizantes complexos	Contêm dois a três nutrientes primários das plantas, dos quais dois nutrientes primários estão em combinação química. São produzidos em forma granular. Por exemplo: DAP, nitrofosfato e fosfato de amônio.
Fertilizantes mistos	São misturas físicas de fertilizantes retos. Eles contêm mais de dois nutrientes vegetais primários. Estes são preparados através da mistura manual sistemática de ingredientes.

Fonte: Koli, 2019

### 2.3.4.2 Classificação dos fertilizantes com base na forma física

Segundo Koli (2019) e Kant et al (2013) os Fertilizantes em encontrados em duas formas principais, a sólida e a líquida:

### (1) Adubos sólidos

- Cristal (sulfato de amônio);
- Pó (superfosfato único);
- Prills (uréia, fosfato de diamônio, superfosfato);
- Briquetes (briquetes de uréia);
- Grânulos (grânulos Holland)
- Super grânulos (super grânulos de uréia).

### (2) Adubos líquidos:

- Os fertilizantes líquidos são aplicados com água de irrigação ou por aplicação direta.
- Sua facilidade de manuseio exige baixa exigência de mão-de-obra.

## 2.3.5 Consumo, importação e produção de nutrientes (PK)

### 2.3.5.1 Fosfato ( $P_2O_5$ )

Segundo Anuário Nacional Mineral (2017), a produção mundial de rocha fosfática em 2016 foi de 261 milhões de toneladas, um recorde, sendo o maior responsável por isso a China. Este país praticamente dobrou sua produção no período de 2009 a 2015 passando de 60 milhões de toneladas anuais para 120 milhões, em consequência disso, mais de 50% da produção mundial originou-se desse país.

A produção de  $P_2O_5$  em 2016 no Brasil totalizou 33,4 Milhões de toneladas (Mt), com um teor médio de 10,5% de  $P_2O_5$ . E sua importação manteve o patamar de 1,7 Mt importadas dos anos 2014 e 2015, proveniente do Peru (55%), Marrocos (33%) e outros países. No País a extração de fosfato visa principalmente à indústria de fertilizantes. As principais empresas extratoras são altamente verticalizadas possuindo as unidades industriais que irão produzir, através da importação de enxofre, o ácido sulfúrico e, conseqüentemente, ácido fosfórico, superfosfato triplo, MAP. Outros produtos da indústria brasileira são o superfosfato simples e, em menor escala, o fosfato de aplicação direta (DANF) e o fosfato BICÁLCICO (FONSECA, 2017).

### 2.3.5.2 Potássio ( $K_2O$ )

De acordo com OLIVEIRA (2017) em 2016, o Canadá (23,5%), a Rússia (20,2%) e a Bielorrússia (17,6%) ocuparam as três primeiras posições no ranking mundial das reservas de sais de potássio, sendo também os maiores produtores mundiais, uma vez que juntos somaram

cerca de 59,4% do total de potássio fertilizante produzido no ano em análise. O Brasil ficou com a 11ª colocação em termos de reserva lavrável, ocupa também a 10ª posição em relação à produção mundial.

O Brasil no mesmo ano apresentou uma pequena produção de  $K_2O$  (500.917 t), quando comparamos à grande demanda interna pelo produto, o País situa-se no contexto mundial como um dos maiores importadores de potássio fertilizante, tendo como principais fornecedores, o Canadá (31,25%), Bielorrússia (21,33%), a Rússia (16,46%), a Alemanha (13,80%), e Israel (7,31%), os quais, juntos, forneceram cerca de 4,7 Mt (Milhões de toneladas) de  $K_2O$  equivalente. Seu consumo interno aparente de potássio fertilizante situou-se em torno de 11,40% acima (5.532.170 t) do observado em 2015 (4.976.971 t), mantendo-se assim o elevado patamar de consumo interno. A produção interna de potássio fertilizante encontra-se ainda muito abaixo da demanda interna pelo produto (Tabela 8). Seu principal uso é como fertilizante, apresentando-se o setor agrícola como responsável pela maior demanda pelo produto e (OLIVEIRA, 2017).

Tabela 8 – Consumo e produção de fertilizantes no Brasil em Toneladas métricas (Continua)

<b>Fertilizantes</b>	<b>Produção Nacional</b>	<b>Importação</b>	<b>Produção Nacional + Importação</b>	<b>Exportação</b>	<b>Consumo</b>
Sulfato de Amônio	264.208	1.779.309	2.043.517	1.496	2.042.021
Uréia	836.754	4.769.793	5.606.547	10.330	5.596.217
Nitrato de Amônio	407.838	1.378.971	1.786.809	30	1.786.779
Fosfato diamônio - DAP	-	433.711	433.711	300	433.411
Fosfato monoamônico - MAP	1.184.560	3.343.693	4.528.253	4.167	4.524.086
Superfosfato Simples	4.255.164	716.201	4.971.365	868	4.970.497
Superfosfato Triplo	953.790	869.927	1.823.717	1.957	1.821.760
Termofosfato	117.463	-	117.463	398	117.065
Fosfato Natural de aplic. direta	-	166.079	166.079	20	166.059
Cloreto de Potássio	484.877	9.203.088	9.687.965	9.236	9.678.729

Tabela 8 – Consumo e produção de fertilizantes no Brasil em Toneladas métricas (Conclusão)

Fertilizantes	Produção Nacional	Importação	Produção Nacional + Importação	Exportação	Consumo
Complexos	144.271	2.863.756	3.008.027	-	3.008.027
Total	8.648.925	25.524.528	34.173.453	28.802	34.144.651

Fonte: IPNI, 2018

## 2.4 Cinzas Vegetais

### 2.4.1 Conceitos e características

Cinzas vegetais são os resíduos inorgânicos que resultam da combustão (ou oxidação) completa da biomassa e são compostas pelas fases inorgânicas originais e recém-formadas, geradas a partir dos componentes inorgânicos, orgânicos e fluidos da biomassa (VASSILEV et al., 2010). É importante lembrar que os termos cinza, matéria inorgânica e mineral da biomassa não são sinônimos (Tabela 9), pois compreendem constituintes com natureza e quantidade diferentes, semelhantes ao carvão (VASSILEV, et al., 2010).

Tabela 9 – Diferenças dos conceitos dos constituintes inorgânicos das biomassas

Constituintes inorgânicos da biomassa	Conceito
Cinzas	Resultado da combustão (ou oxidação) completa da biomassa e são compostas pelas fases inorgânicas originais e recém-formadas, geradas a partir dos componentes inorgânicos, orgânicos e fluidos da biomassa.
Matéria inorgânica	Matéria inorgânica compreende fases cristalinas, semi-cristalinas e amorfas sólidas na biomassa.
Matéria mineral	Matéria mineral real, como parte da matéria inorgânica, exclui a matéria amorfa inorgânica e inclui apenas minerais e mineralóides na biomassa que pertencem a classes, grupos e espécies de minerais estritamente divididos e definidos no sentido mineralógico.

Fonte: VASSILEV et al., 2010.

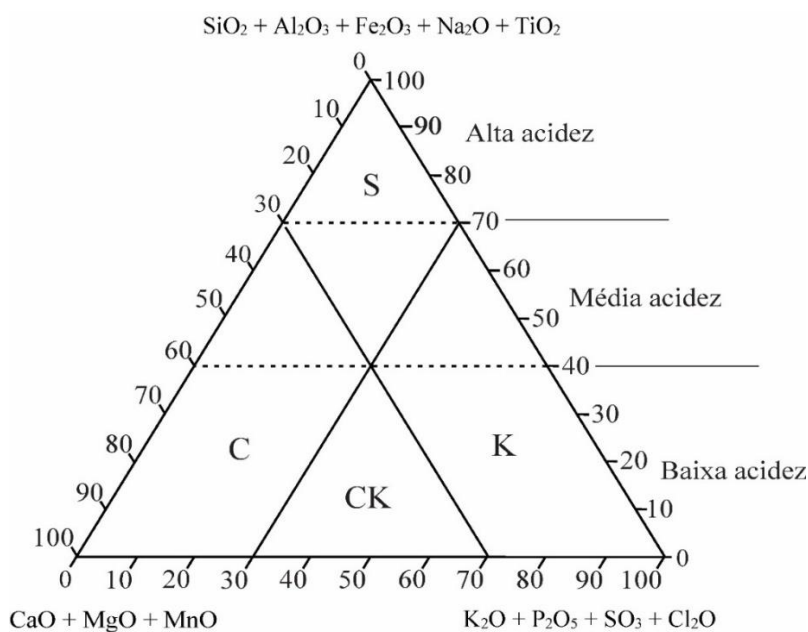
As características químicas das cinzas dependem do tipo de biomassa queimada, bem como das transformações que ocorrem durante o processo de combustão nas diferentes temperaturas a que são submetidas (VASSILEV et al., 2014).

Portanto, as cinzas são um produto altamente heterogêneo cuja composição consiste principalmente em alguns componentes principais: óxido de potássio ( $K_2O$ ), de cálcio ( $CaO$ ) de magnésio ( $MgO$ ), sílica ( $SiO_2$ ), fosfato ( $P_2O_5$ ) alumina ( $Al_2O_3$ ) e carbono ( $C$ ). Outros componentes estão presentes em proporções bem menores (OBERNBERGER & SUPANCIC, 2009; VASSILEV et al. 2010).

#### 2.4.2 Classificação das cinzas

VASSILEV et al. (2010) classificaram as cinzas de biomassa em quatro tipos químicos, denominados S, K, C e CK (Figura 6), que dependem da quantidade de determinados compostos predefinidos: teor de  $K_2O + P_2O_5 + SO_3 + Cl_2$ , teor de  $CaO + MgO + MnO$  e o teor de  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + Na_2O + TiO_2$ , além disso, ele pontuou que o teor de silício (Si) é essencial para se avaliar a acidez das cinzas geradas, pois, normalmente a acidez do material é proporcional ao teor de Si (figura 6).

Figura 6 – Classificação das cinzas e biomassa no sistema S, C, K e CK



Fonte: VASSILEV et al., 2010.

##### 2.4.2.1 Cinzas tipo S

Essas cinzas são formadas essencialmente por Si, Ca, Al, K, Fe, P e Ti que geralmente configuram os componentes químicos mais abundantes em sua composição, somado a isso, as fases minerais que sustentam esse modelo de sistema são: cloretos (silvita), carbonatos (calcita), sulfatos (anidrita, arcanita), silicatos mais estáveis (cristobalita, quartzo, tridimita, leucita, kalsilita) e material amorfo inorgânico (sem vidro). Além disso, o sistema “S” normalmente

mostra:

- (1) valores mais altos de Si, Al, Fe e Ti;
- (2) valores mais baixos de K, Mg e S; em comparação com outros tipos de cinzas.

#### 2.4.2.2 Cinzas tipo C

As cinzas do tipo C tem por característica possuir em sua composição elementos como Ca, Si, K, Mg, Al, Fe, S e P que são geralmente os componentes químicos mais abundantes nessas cinzas, além disso, as fases minerais que normalmente sustentam os elementos desse sistema são: carbonatos intermediários e menos estáveis (calcita), hidróxidos (portlandita), fosfatos (whitlockite), óxidos mais estáveis (periclasio, cal), fosfatos (apatita), silicatos (quartzo) e material inorgânico amorfo (sem vidro). Além disso, o tipo “C” normalmente mostra:

- (1) valores mais altos de Ca e Si;
- (2) valores mais baixos de P e Na em comparação com outros tipos de cinzas.

#### 2.4.2.3 Cinzas tipo K

São formadas essencialmente por K, Si, Ca, P, Mg, S, Fe e Na são geralmente os componentes químicos mais abundantes nessas cinzas, e as fases e minerais de sustentação dos elementos desse sistema são: cloretos intermediários e menos estáveis (halita, silvita), hidróxidos (portlandita), carbonatos (carbonato K, calcita, fairchildita), sulfatos (arcanita, anidrita), óxidos mais estáveis (periclasio, cal), fosfatos (apatita) e silicatos (quartzo, leucita, kalsilita) e material amorfo inorgânico (sem vidro). Além disso, o tipo “K” normalmente mostra:

- (1) valores mais altos de K, S e Na;
- (2) valores mais baixos de Ca e Ti em comparação com outros tipos de cinzas.

#### 2.4.2.4 Cinzas tipo CK

Formados essencialmente por Ca, K, P, Mg, Si e S são geralmente os componentes químicos mais abundantes nesses cinzas e as fases e minerais que geralmente sustentam os elementos desse sistema são: hidróxidos(portlandita), carbonatos (calcita, fairchildite, butschliite, carbonato K), sulfatos (anidrita), óxidos mais estáveis (periclasio, cal), fosfatos (apatita), silicatos (quartzo, plagioclases) e material amorfo inorgânico. Além disso, o tipo “CK” normalmente mostra:

- (1) valores mais altos de P e Mg;

(2) valores mais baixos de Si, Al e Fe em comparação com outros tipos de cinzas.

## **2.5 Utilização das cinzas**

### **2.5.1 Construção civil**

A varios estudos investigando a viabilidade do uso de cinzas de resíduos de agrícola e florestais como material de substituição parcial para a produção de concreto. Os testes mostraram resultados promissores em que as cinzas de resíduos de madeira podem ser usadas adequadamente como material constituinte durante a produção de concreto de qualidade estrutural com propriedades mecânicas e de durabilidade aceitáveis (UDOEYO et al., 2006; KATARE et al. 2017). Essas descobertas fornecem uma solução para os problemas de gerenciamento de resíduos de cinzas de resíduos de madeira e também contribuem para minimizar o consumo de produção de cimento hidráulico com uso intensivo de energia de material de concreto mais verde, suprimindo a crescente demanda da indústria da construção (ELINWA et al. 2004, VASSILEV et al., 2012).

### **2.5.2 Adsorventes**

A adsorção é reconhecida como uma técnica eficiente, promissora e mais amplamente utilizada nos processos de tratamento de águas residuais, nesse panorama as cinzas de biomassa (resíduo abundantemente disponível nos fornos das caldeiras), demonstraram ter um grande potencialidade nos processos de tratamento de águas residuais, para remoção de compostos orgânicos ou inorgânicos, como ótimos adsorventes e também como purificadores do ar na limpeza de contaminantes da atmosfera (LI et al., 2008; FOO et al., 2009).

### **2.5.3 Fertilizantes**

A cinza de biomassa lenhosa também tem o potencial de ser usada como fertilizante nos solos da floresta para compensar os nutrientes removidos pela colheita e outras atividades de manejo florestal, uma vez que contém macro e micro elementos necessários para as árvores, como potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), boro (B) e zinco (Zn) e, portanto, podem contribuir para reduzir o uso de fertilizantes tradicionais (VASSILEV et al., 2014). A exceção é o nitrogênio, que é oxidado durante a combustão. No entanto, a adição de outras emendas e cinzas, como lodo de esgoto, pode fornecer o nitrogênio necessário para as usinas (PESONEN et al., 2016)

Embora a valorização das cinzas da biomassa para melhoria do solo pareça ser uma boa

solução ecológica, é de importância crucial avaliar os possíveis impactos ambientais resultantes dessa prática (VASSILEV et al. 2014). Um dos fatores principais nessa avaliação é a liberação de contaminantes no ambiente que afetam a saúde humana e a segurança ambiental (DUNG et al., 2018). Traços de contaminantes de elementos, como arsênio (As), cromo (Cr), cádmio (Cd), cobre (Cu) etc., podem ser encontrados na cinza de biomassa florestal em concentrações variáveis (VASSILEV et al., 2014). Esses elementos influenciam a qualidade das cinzas, comprometendo sua valorização e promovendo alterações no solo, na vegetação e, conseqüentemente, na composição das águas subterrâneas, que podem potencialmente prejudicar o meio ambiente, bem como nos seres humanos e em várias espécies animais e vegetais que vivem nas proximidades (VASSILEV et al., 2013).

### 2.5.3.1 Utilização sustentável das cinzas como fertilizante

As indústrias que utilizam biomassa como combustível geram uma grande quantidade de cinzas, essas cinzas industriais são classificadas em (Tabela 10): cinzas de fundo e cinzas volantes (SJAAC et al., 2008).

Tabela 10 – Classificação das cinzas industriais

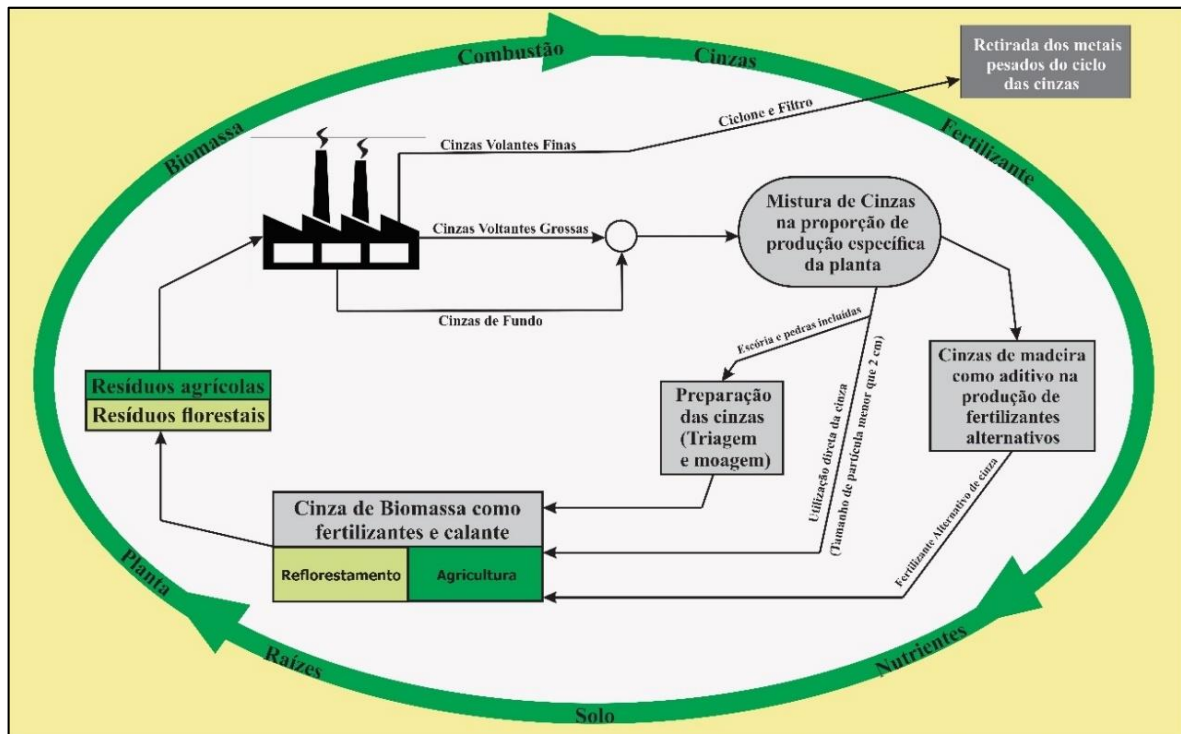
Cinzas	Características	Quantidade formada
Cinza de fundo	Concentração de metais alcalinos e alcalino terrosos, maior conteúdo de Si	60 a 90%
Cinzas volantes grossas	Concentração de metais alcalinos, menor conteúdo de Si	2 a 20%
Cinzas volantes finos	Concentração de metais pesados	2 a 15%.

Fonte: SJAAC et al., 2008

OBERNBERGER & SUPANCIC (2009) propuseram que as cinzas de fundo deveriam ser recicladas para terras agrícolas ou florestais, a fim de contribuir para o fechamento do ciclo mineral, o que foi corroborado por FULLER et al. (2018), uma vez que a combustão de combustíveis herbáceos produz cinzas com alto teor de nutrientes e baixo teor de metais pesados, uma mistura de cinzas de fundo e cinzas volantes grossas deve ser usada em qualquer caso. Se possível, as cinzas devem ser devolvidas ao solo onde o combustível foi cultivado (ou seja, cinzas de madeira para terras florestais, cinzas de palha e outros combustíveis herbáceos para grama ou terras agrícolas). Além disso, as cinzas volantes finas, que representam a fração de cinzas de menor granulometria e mais rica em metais pesados, devem ser utilizadas em processos industriais (por exemplo, recuperação de metais pesados) ou descartadas. Nas Figura 7 e Figura 8 abaixo, podemos observar o ciclo sustentável e a

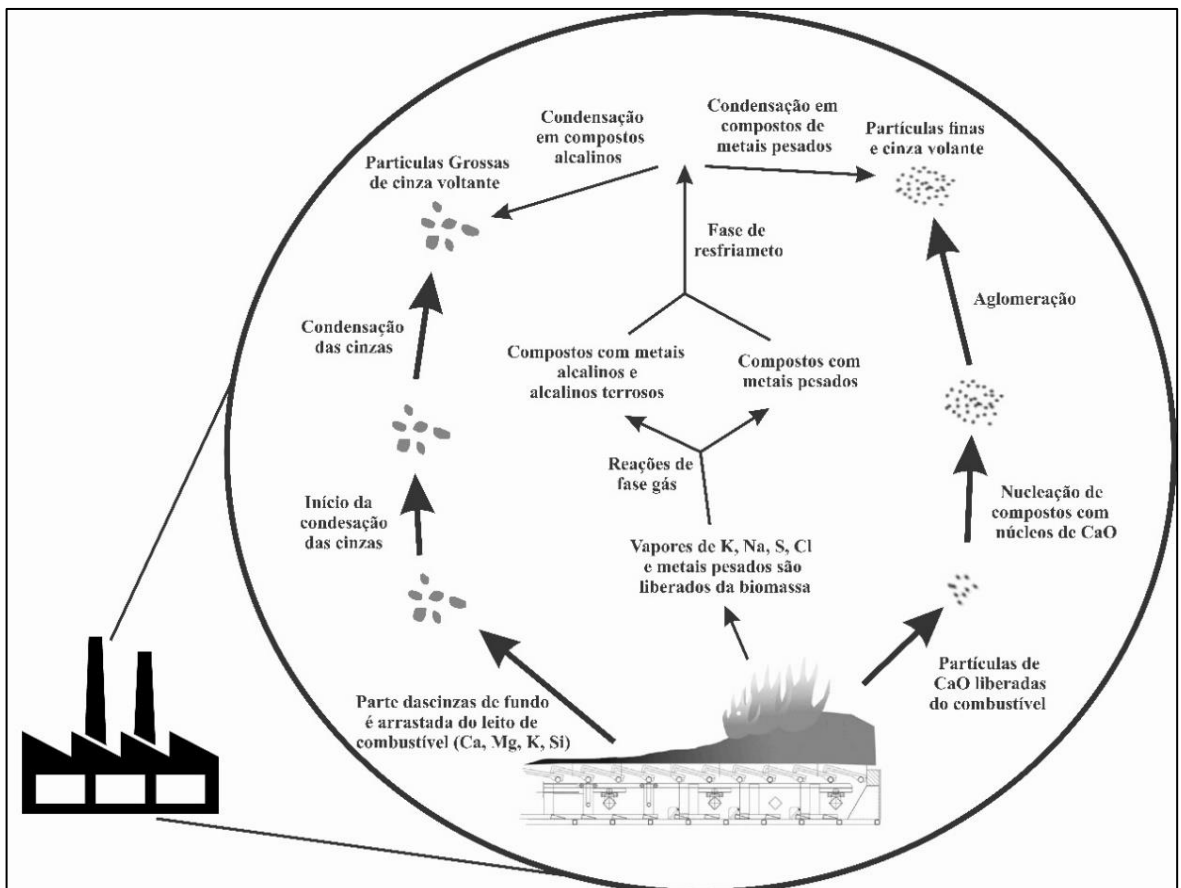
formação as cinzas de fundo e volantes, respectivamente.

Figura 7 – Ciclo sustentável das cinzas



Fonte: OBERNBERGER & SUPANCIC, 2009 (modificada).

Figura 8 – Formação das cinzas e fundo e volantes



Fonte: SJAACK et al., 2008 (modificada).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Nesse trabalho foram utilizadas duas classes de biomassas, agrícola e florestal. Representando a biomassa agrícola tem-se o endocarpo do coco-da-baía, da castanha-do-Pará e o pericarpo da castanha-do-Pará (ouriço), e representado a biomassa florestal tem-se o eucalipto (Tabela 11).

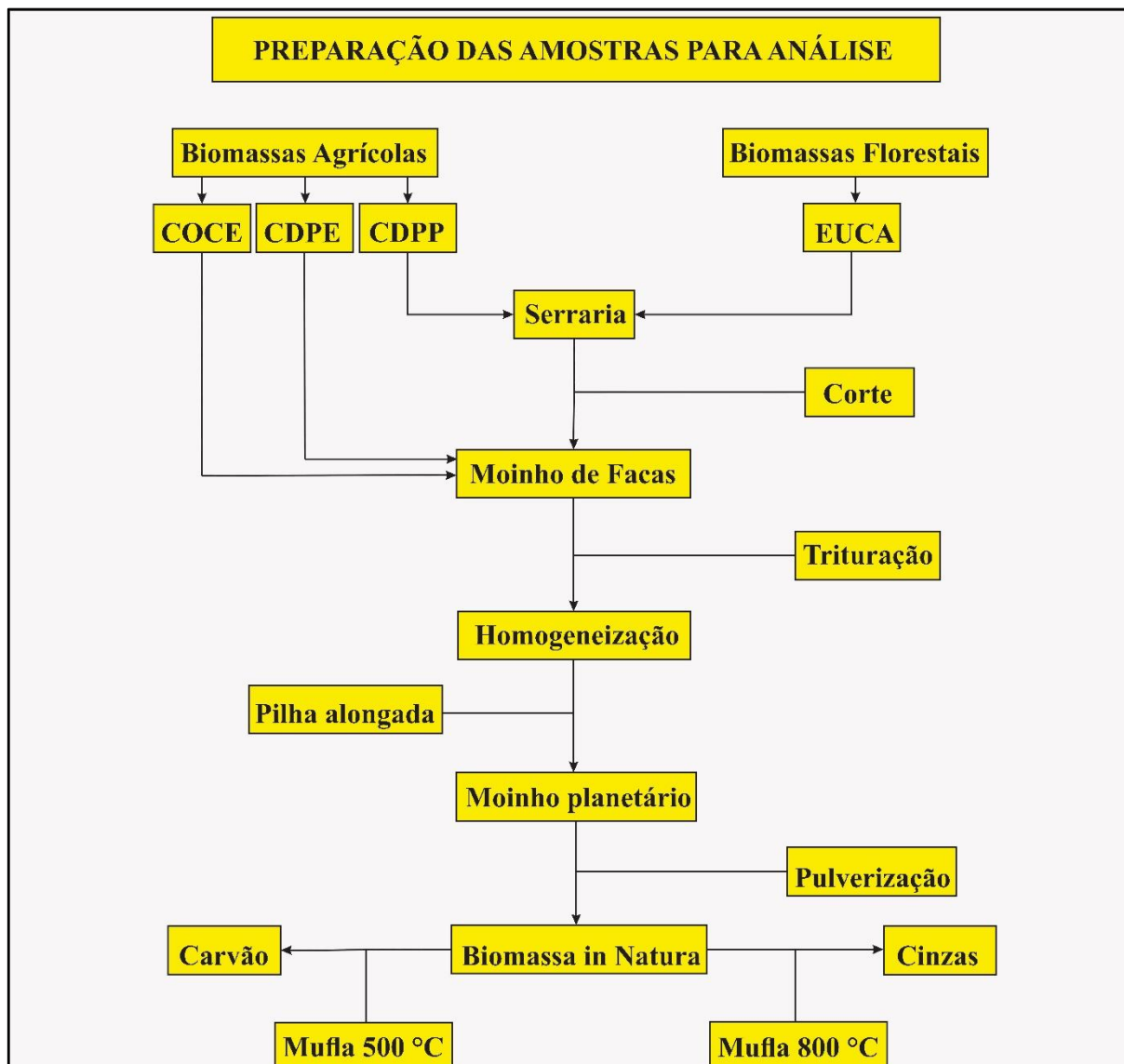
Tabela 11 – Características das biomassas estudadas no trabalho

Biomassa	Classificação	Nomenclatura	Espécie	Origem
Endocarpo da castanha-do-Pará	Agrícola	CDPE	<i>Bertholletia Excelsa</i> (semente)	Pará - Cametá, Jari, Acará e Moju
Pericarpo da castanha-do-Pará	Agrícola	CDPP	<i>Bertholletia Excelsa</i> (fruto)	Pará - Cametá, Jari, Acará e Moju
Endocarpo do coco-da-baía	Agrícola	COCE	<i>Cocos Nucifera</i>	Pará - Marajó (Pontas e pedra)
Eucalipto	Florestal	EUCA	<i>Eucalyptus Grandis</i>	Tocantins - São Bento de Tocantins

Fonte: Autor.

As biomassas se encontravam em formatos variáveis, para o CDPP e EUCA foi necessário o uso de uma serra meia esquadria da marca Vonder que auxiliou na diminuição do seu tamanho devido sua alta dureza que poderia danificar o triturador a ser usado posteriormente. Essas amostras após alcançarem o tamanho adequado foram cominuídas em um triturador da marca TRAPP do modelo TRF600, em seguida os materiais foram homogeneizados e quarteados via pilha alongada, com separação de alíquotas para análises da composição química: química imediata (AQI), química elementar (FRX), mineralógica (DRX), infravermelho (FTIR), térmicas (TG) e morfológicas (MO e MEV). As frações destinadas à análise química imediata foram submetidas à classificação por peneiramento para a obtenção de material na granulometria entre 60 e 80 # (0,250 e 0,177 mm). E as alíquotas destinadas para análise por DRX, FRX, TG e FTIR foram submetidas a pulverização em um moinho planetário Pulverisette 7 Fritsch, com tempo de 10 minutos e sob rotação de 800 rpm, para obtenção de um material fino, abaixo de 100 # (0,149) mm. Desse material, também foram separadas alíquotas para produção de carvão vegetal a 500 °C em um forno mufla por 1 h, bem como para a produção de cinzas em forno mufla a 800 °C por 6 h (Figura 9).

Figura 9 – Preparação das amostras para análise



Fonte: Autor.

A Tabela 12 abaixo resume as análises realizadas nas amostras de Biomassa *in natura*, carvões e cinzas vegetais.

Tabela 12 – Análises realizadas nas amostras

Estado do material	<i>In natura</i>	Carvão	Cinza
Análises	AQI, FTIR, DRX, TG	FTIR, DRX	FTIR, DRX, FRX, MO e MEV
Materiais	CDPE-B, CDPP-B, COCE-B e EUCA-B	CDPE-C, CDPP-C, COCE-C e EUCA-C	CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz

Fonte: Autor.

## 3.2 Métodos

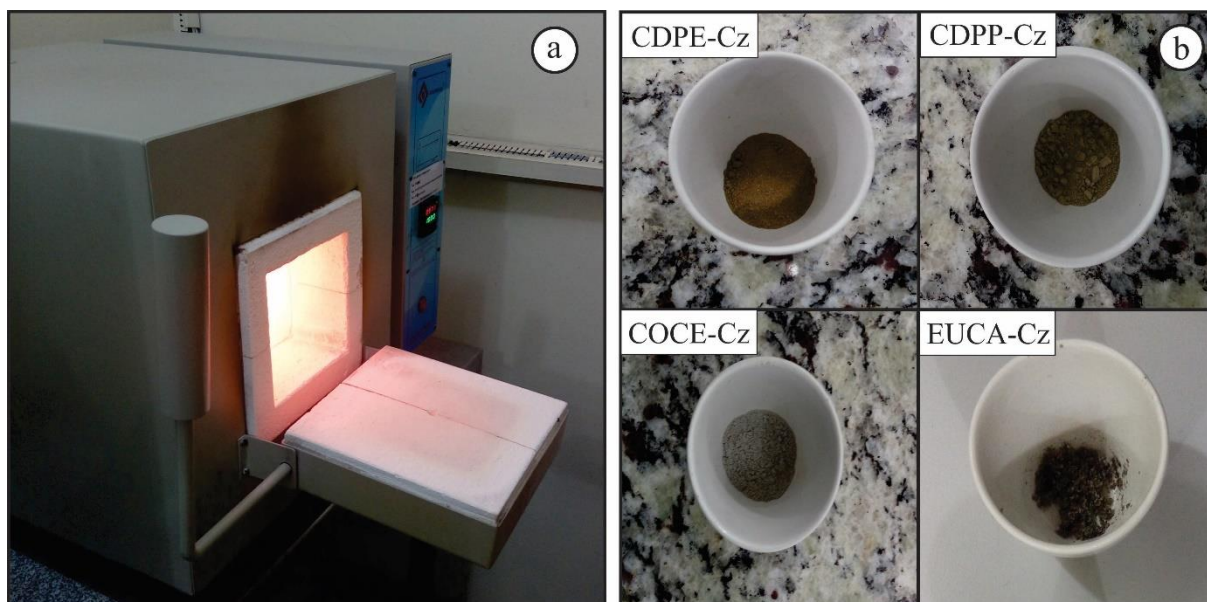
### 3.2.1 Composição Química

#### 3.2.1.1 Análise da Composição Química Imediata

A composição inicial das biomassas foi desenvolvida através da análise química imediata nas amostras *in natura* a fim de obter seu teor de umidade ( $T_U\%$ ), materiais voláteis ( $T_{MV}\%$ ), cinzas ( $T_{Cz}\%$ ) e carbono fixo ( $T_{CF}\%$ ), que foram determinados de acordo com o procedimento da norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2013). O procedimento ocorreu em triplicatas para cada uma das biomassas, totalizando 12 análises.

Para a obtenção do  $T_U\%$ , 1 g de amostra de cada biomassa foi submetida a  $105\text{ }^\circ\text{C} \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$  em estufa por 24 h. Para o  $T_{MV}\%$ , foram empregadas as mesmas amostras de cada biomassa da análise anterior, as quais foram levadas a mufla regulada a uma temperatura de  $950\text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 10a), onde permaneceram por 2 minutos sobre a porta aberta da mufla, 3 minutos na borda da mufla e 6 minutos no interior da mufla, todo esse processo foi realizado com cadinho fechado. Já para determinação do  $T_{Cz}\%$  (Figura 10b), foram empregadas as mesmas amostras de biomassa da análise anterior, as quais foram submetidas a  $800 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$  em forno mufla por 6 horas, porém com cadinho aberto. Entre cada procedimento foram tomadas as massas das amostras e o teor de cada componente, inclusive o teor de carbono fixo calculado de forma indireta, através da subtração dos teores umidade, voláteis e cinzas.

Figura 10 – (a) Forno tipo mufla onde foram realizadas as análises de AQI; (b) Cinzas resultantes do final da análise de AQI.



Fonte: Autor.

### 3.2.1.2 Análise da Composição Química Final

A preparação de amostras consistiu em retirar do volume total de material recebido, pequenas porções que representassem o todo. Os procedimentos foram realizados em base seca, portanto as amostras foram trituradas, acondicionadas em placas de vidro (placas de petri) e secas em estufa durante 24h sob uma temperatura e 105° C, após este procedimento, as amostras foram mantidas em dessecadores, e em seguida as amostras foram peneiradas de modo a se adequar para ao procedimento de análise dos equipamentos, e por fim foram analisadas em um analisador elementar da Perkin Elmer, modelo 2400, Série II (Figura 11).

Figura 11 – Analisador Elementar



Fonte: Autor.

### 3.2.1.3 Análise Química Elementar

A determinação da composição química das cinzas das biomassas (CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz) foi realizada por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo *Axios Minerals* da marca PANalytical (Figura 12a), com tubo de raios-X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência 2,4 KW.

As amostras foram analisadas sob a forma de pastilha prensada (Figura 12b) com auxílio de uma prensa SPEX SamplePrep, modelo X-Press (Figura 12c), a qual foi preparada com 0,5 g de amostra para 0,15 g de aglomerante (cera de parafina) sobre substrato de ácido bórico

( $H_2BO_3$ ). Mistura prensada com uma carga de 25 toneladas, diâmetro da pastilha de 33 mm e espessura de 3 mm.

Figura 12 – (a) Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X; (b) Pastilha prensada; (c) Prensa



Fonte: Autor.

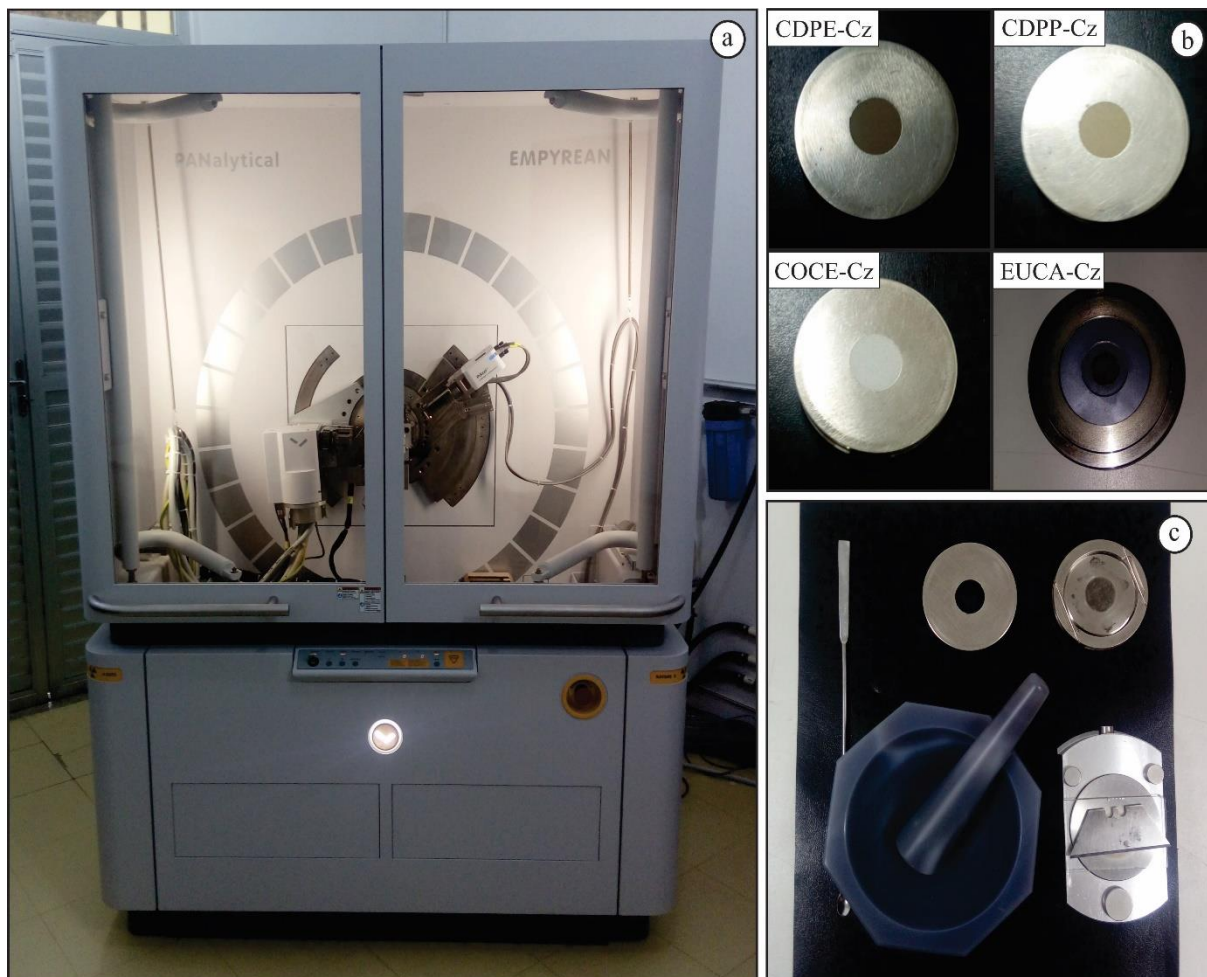
### 3.2.2 Análise Mineralógica

#### 3.2.2.1 Análise de Difractometria de Raios-X

A caracterização mineralógica foi realizada por difração de raios-X, e foi efetuada em três formas para cada biomassa estudada, tais como: amostra *in natura* (CDPE-B, CDPP-B, COCE-B e EUCA-B), sob a forma de carvão (CDPE-C, CDPP-C, COCE-C e EUCA-C) e como cinzas (CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz). Essas análises foram realizadas pelo método do pó por Difractometria de Raios-X (DRX), utilizando-se um difratômetro de raios X modelo Epyrean da PANalytical (Figura 13a), com tubos de raios-X cerâmico e anodo de Co ( $K\alpha_1 = 1,789010 \text{ \AA}$ ), filtro  $K\beta$  de Fe, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, varredura

de  $3,0031^\circ$  a  $111,000^\circ$  em  $2\theta$ , tamanho do passo  $0,0065652^\circ$  em  $2\theta$ , tempo/passo de 20,280 s, fenda divergente  $1/4^\circ$  e anti-espalhamento  $1/2^\circ$ , máscara 15 mm. As amostras foram montadas tanto em porta-amostras de silício quanto no suporte do tipo *backloading* (Figura 13b e 13c).

Figura 13 – (a) Difratorômetro de raios-X modelo Empyrean da PANalytical; (b) Porta-amostras com preenchimento *backloading*; (c) Acessórios para preparação da amostra



Fonte: Autor.

### 3.2.3 Composição Morfológica

#### 3.2.3.1 Análise de Microscopia Óptica

As análises de Microscopia Óptica (MO) foram realizadas no Laboratório Petrografia do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. As análises foram executadas em lâminas delgadas para identificação textural e mineralógica das amostras de cinzas das biomassas de CDPE, CDPP, COCE e EUCA, o microscópio óptico utilizado foi da marca LEICA, modelo DM 2500P (figura 14).

Figura 14 – Microscópio Óptico



Fonte: Autor.

### 3.2.3.2 Análise de Microscopia Eletrônica por Varredura

Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura nas 4 amostras de cinzas (CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz).

A metalização das amostras foi realizada com metalizador de ouro da marca Emitech do modelo K550X (Figura 15a) sob um tempo de 1,5 min (aprox. 15 nm).

As imagens de elétrons secundários foram obtidas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV Zeiss modelo SIGMA- VP (Figura 15c) pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), cedido em contrato de comodato para a UFPA. As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons = 80  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 10 kv, distância de trabalho = 8,5 mm.

As análises de EDS (energy dispersive spectroscopy) foram realizadas também no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV Zeiss modelo SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado (figura 15b), pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), cedido em contrato de comodato para a UFPA. As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons = 80  $\mu$ A, voltagem

de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 8,5 mm, tempo de contagem para análise dos elementos = 30 s.

Figura 15 – (a) Metalizador; (b) Equipamento de EDS; (c) MEV



Fonte: Autor.

### 3.2.4 Análises Térmicas

#### 3.2.4.1 Análise Termogravimétrica

As análises Termogravimétricas (TG) das biomassas de CDPE-B, CDPP-B, COCE-B e EUCA-B foram obtidas utilizando-se um equipamento modelo NETZSCH STA 449F3 Júpiter (Figura 16), com analisador térmico simultâneo da NETStanton Redcroft Ltda, forno cilíndrico vertical de platina, faixa de temperatura de 25 °C até 1000 °C, sob fluxo de gás nitrogênio 50 mL / min, sob uma razão de aquecimento de 5°C/min em um cadinho de platina como referência.

Figura 16 – Equipamento para análise Termogravimétrica

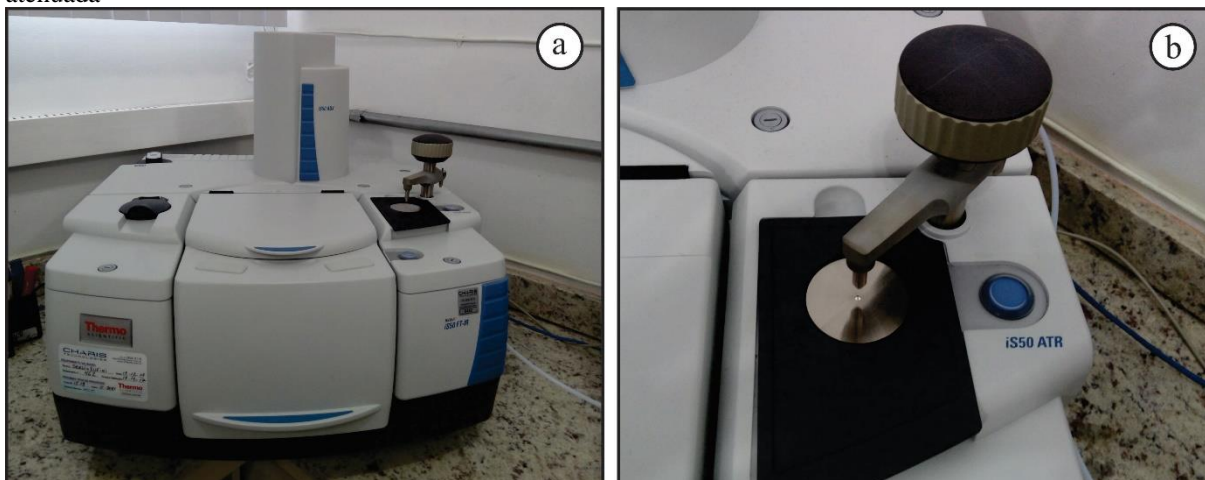


Fonte: Autor.

### 3.2.4.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

Os espectros de absorção de infravermelho das amostras das biomassas *in natura*, carvão e cinzas foram analisados através de um espectrômetro da marca Thermo, modelo Nicolet iS50 FT-IR (Figura 17a), pela análise de reflectância total atenuada (Figura 17b), na região espectral de  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ , a 100 scans e resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . A aquisição dos dados foi realizada com o auxílio do software OMNIC. E como pré-tratamento, as amostras foram secas a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

Figura 17 – (a) Espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier; (b) Análise de refletância total atenuada



Fonte: Autor

### 3.2.4.3 Análise de Poder Calorífico Inferior e Superior das biomassas *in natura*

As mediadas de poder calorífico superior (PCS) foram obtidas com auxílio de uma bomba calorimétrica da IKA Werke, modelo C2000 Control (Figura 18). Essa análise em conjunto com a análise de CHON, juntamente com o teor de cinzas obtido por PA auxiliaram na determinação do poder calorífico inferior (PCI). Todos os valores foram calculados em base livre de umidade.

Figura 18 – Bomba Calorimétrica



Fonte: Autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de Composição Química

#### 4.1.1 Análise Química Imediata das biomassas

Os resultados da Tabela 13 demonstraram que o teor de umidade, que é representado como o teor de água presente na amostra, foi maior nas amostras de CDPE-B e EUCA-B com valores médios de 10,86 % e 9,46 % respectivamente, e menores nas amostras de COCE-B com o valor médio de 5,17 %, a umidade das amostras tanto agrícolas como a florestal se mantiveram dentro do padrão estudado por VASSILEV et al. (2010).

É importante que o teor de umidade da biomassa a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível (SILVA, 2012).

O maior teor de materiais voláteis foi encontrado no CDPP com valor médio de (78,02 %), enquanto o maior teor de carbono fixo foi no EUCA-B (23,02 %), isso demonstra a possibilidade de haver maior concentração de lignina nessa biomassa, ou seja, um maior poder calorífico, logo uma possível utilização para esse material, seria como carvão vegetal ou na formulação de pellets (POLETTO et al., 2012; SPANHOL et al., 2015).

Os teores de cinzas obtidos foram maiores no CDPE-B com o valor médio de 6,17 %. As cinzas estão relacionadas a presença de minerais no solo – como potássio, cálcio, quartzo, ferro, enxofre, fosforo, magnésio, alumina, sódio, manganês, titânio, cloro, níquel entre outros nutrientes –, bem como podem ser também de origem autigênica – originárias da própria biomassa, essa composição costuma variar com a disponibilidade de minerais no solo, clima, espécie, idade e parte do vegetal (JUNIOR, 2010).

Segundo VASSILEV et al. (2015), as biomassas florestais apresentam menores teores de cinzas, em comparação a outras variedades de biomassa, enquanto as biomassas agrícolas possuem altos rendimentos de cinzas e, portanto, muito mais elementos formadores de cinzas do que a maioria da biomassa florestal.

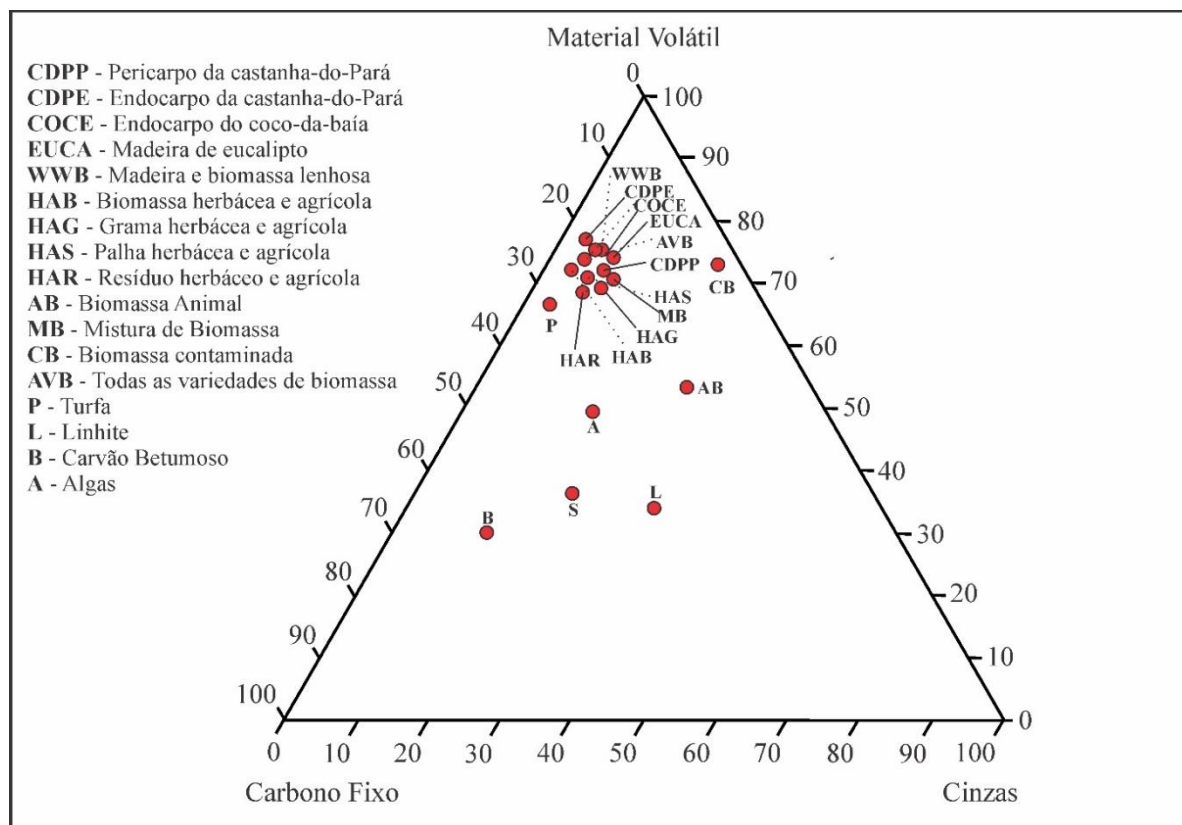
Na Figura 19 abaixo, elaborada por VASSILEV et al. (2010) é possível observar a comparação da composição química imediata das biomassas do presente trabalho com outras biomassas da literatura, é possível notar que a maioria delas possui uma grande quantidade de material volátil variando de 70 a 80 %, de carbono fixo entre 5 a 25 % e baixa quantidade de cinzas variando entre 1 e 8 % e em sua composição.

Tabela 13 – Composição Química Imediata das biomassas

Biomassas	Amostras	Umidade	Material Volátil	Carbono Fixo	Cinzas
<b>Endocarpo da castanha-do-Pará</b>	CDPE - I	10,28	70,91	17,16	1,65
	CDPE - II	11,16	69,82	17,59	1,43
	CDPE - III	11,14	70,17	17,14	1,55
	Média	10,86	70,30	17,29	1,54
<b>Pericarpo da castanha-do-Pará</b>	CDPP - I	6,25	78,04	15,37	0,34
	CDPP - II	6,22	77,88	15,45	0,45
	CDPP - III	6,21	78,15	15,26	0,38
	Média	6,22	78,02	15,36	0,39
<b>Endocarpo do coco</b>	COCE - I	5,20	68,78	17,90	6,33
	COCE - II	5,14	70,56	18,01	6,29
	COCE - III	5,16	70,07	18,87	5,90
	Média	5,17	69,80	18,26	6,17
<b>Eucalipto</b>	EUCA - I	9,48	66,65	23,63	0,24
	EUCA - II	9,15	68,17	22,47	0,22
	EUCA - III	9,73	67,08	22,96	0,23
	Média	9,46	67,30	23,02	0,23

Fonte: Autor.

Figura 19 – Comparação da composição imediata das biomassas do trabalho com outras biomassas da literatura



Fonte: VASSILEV et al., 2010

#### 4.1.2 Análise Química Final das biomassas

As biomassas apresentaram valores bem próximos de carbono, hidrogênio, enxofre e oxigênio em sua estrutura (Tabela 14), quando comparadas as biomassas desse trabalho com as biomassas de VASSILEV et al. (2015), podemos observar que basicamente elas ocupam uma região em particular onde carbono + hidrogênio varia entre 50 a 60% e oxigênio 40 a 50%, com exceção dos carvões, algas, biomassa animal e contaminada (Figura 20).

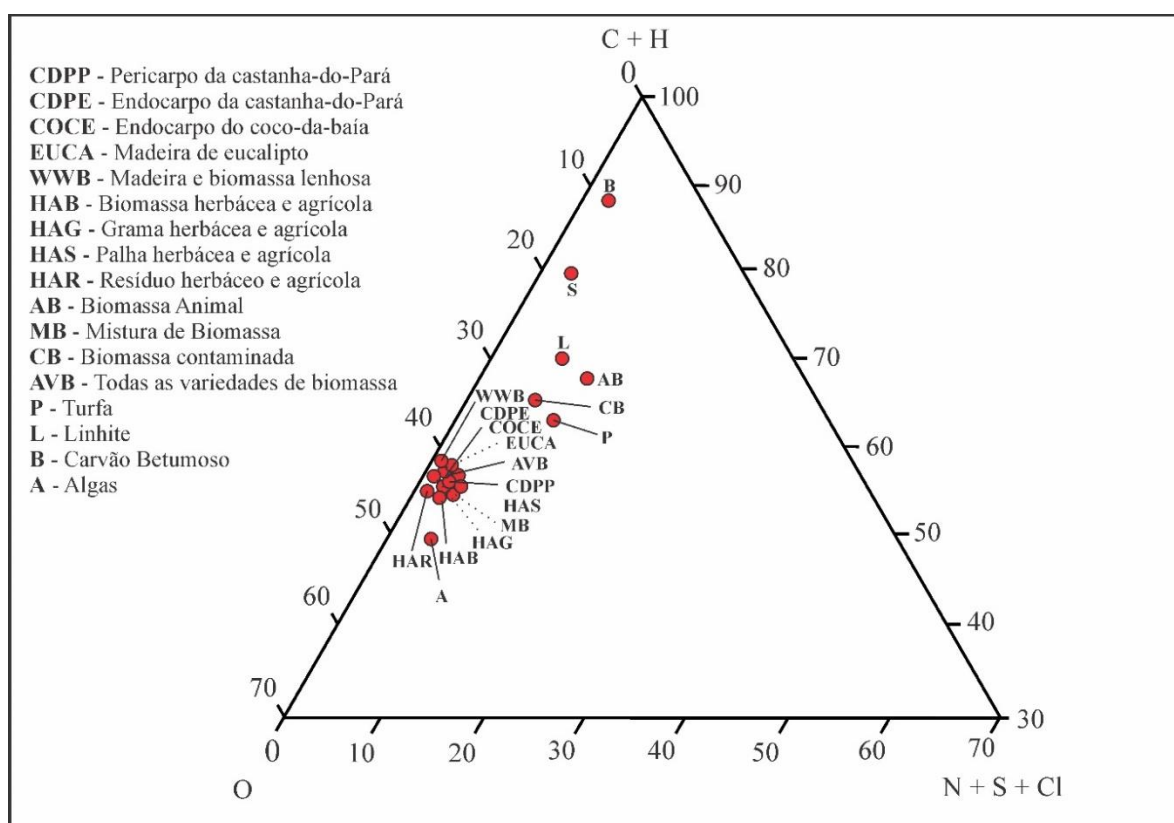
As biomassas agrícolas apresentaram maiores valores de nitrogênio do que o EUCA-B, isso se deve ao fato que as biomassas agrícolas possuem uma maior capacidade de fixar o nitrogênio em sua estrutura (MASCARENHAS & WUTK, 2014).

Tabela 14 – Composição química final das biomassas

Amostras	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
<b>CDPE-B</b>	52,90	6,53	1,18	0,80	38,59
<b>CDPP-B</b>	49,33	6,23	0,90	0,73	42,81
<b>COCE-B</b>	50,58	6,43	0,41	0,74	41,84
<b>EUCA-B</b>	48,84	6,57	0,37	0,80	43,41

Fonte: Autor

Figura 20 – Comparação da composição final das biomassas do trabalho com outras biomassas da literatura



Fonte: VASSILEV et al., 2015.

#### 4.1.3 Análise Química Elementar das cinzas

A análise química elementar das cinzas (Tabela 15) evidenciou que o elemento cálcio apareceu em maior quantidade na CDPE-Cz (32,06 %), e o potássio no CDPP-Cz e COCE-Cz, isso decorre do fato que o cálcio e o potássio são os macronutrientes e desempenham funções importantes, no crescimento das plantas e na regulação da água em seu organismo (BAMSEY et al., 2014; HILLEL et al., 2004).

O fósforo apareceu em segundo na CDPE-Cz, sua expressiva quantidade é ocasionada pela sua ação importante nos organismos das plantas, sendo fundamental na fotossíntese e no seu metabolismo. (HILLEL et al., 2004; SÂNCHEZ et al., 2017). A grande quantidade de potássio e fosforo nas amostras de CDPE, CDPP e COCE classificou essas cinzas segundo VASSILEV et al. (2010) com sendo do tipo K (Figura 21).

O magnésio, cuja deficiência acarreta a diminuição do crescimento e da função do cloroplasto (CHEN et al., 2017; HILLEL et al., 2004), apareceu em maior concentração no CDPE-Cz também.

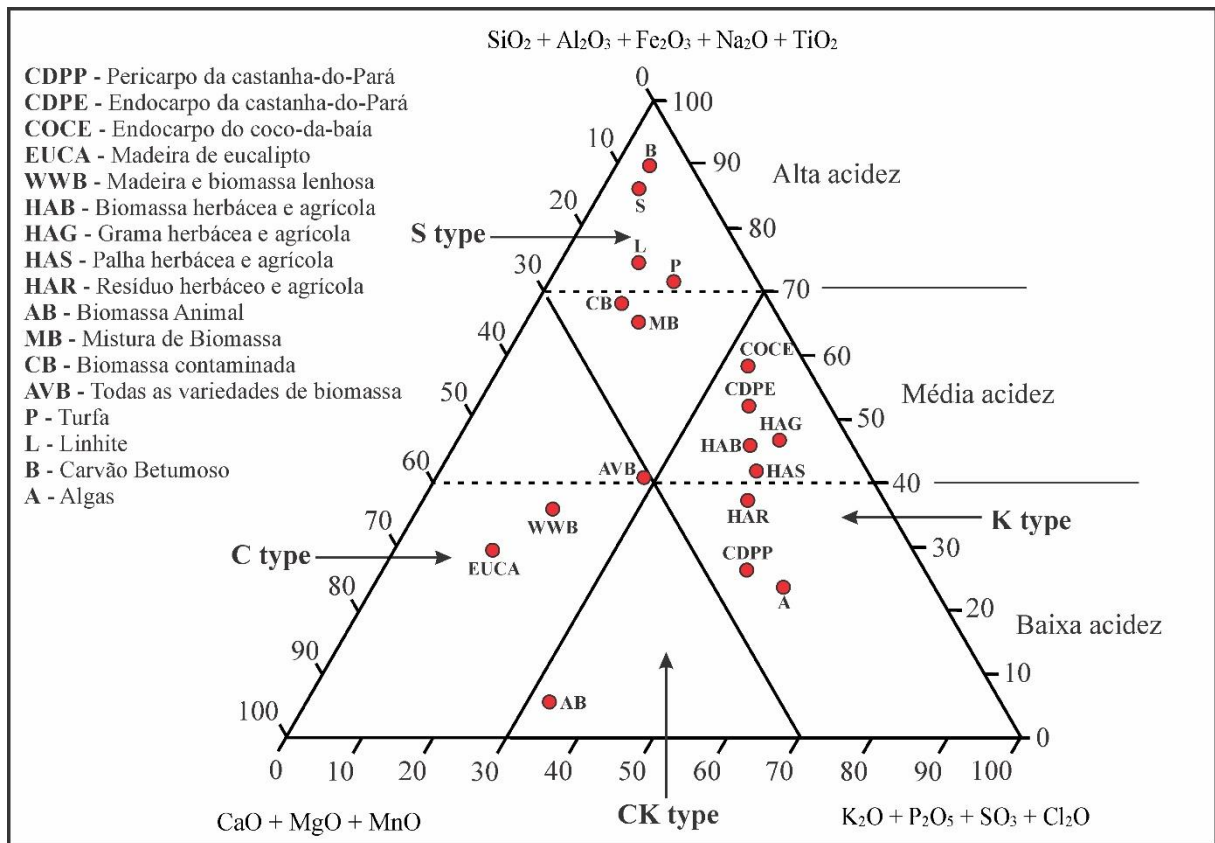
O silício apareceu em quantidades consideráveis nas biomassas agrícolas (35,02 %), mas ele foi notoriamente mais evidenciado na biomassa florestal (EUCA-Cz), ele é importante para as plantas, pois atua de maneira benéfica em suas propriedades mecânicas e fisiológicas (FAUTEUX et al., 2005). Essa grande quantidade de cálcio e silício na composição dessa cinza a classificou em cinza do tipo C (Figura 21).

Tabela 15 – Composição química elementar das cinzas das biomassas

% m/m	CDPE-Cz	CDPP-Cz	COCE-Cz	EUCA-Cz
<b>K<sub>2</sub>O</b>	16,02	39,53	47,96	1,95
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	16,23	4,92	9,30	3,17
<b>CaO</b>	32,06	12,88	10,75	12,52
<b>MgO</b>	11,47	6,05	6,85	2,33
<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,09	4,16	8,43	35,02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,53	10,60	2,14	11,58
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,82	5,65	5,58	0,69
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,31	0,56	0,59	8,03
<b>SO<sub>3</sub></b>	7,52	6,86	2,70	2,15
<b>MnO</b>	0,23	0,49	0,38	0,69
<b>CuO</b>	0,34	0,37	0,37	4,80
<b>NiO</b>	-	-	-	0,44
<b>SrO</b>	0,51	0,21	-	1,05
<b>Cl</b>	-	-	1,07	-
<b>Zr</b>	-	-	0,19	-
<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	-	-	-	0,66
<b>NiO</b>	-	-	-	0,44
<b>P.F.</b>	7,53	10,03	7,29	14,51

Fonte: Autor.

Figura 21 – Classificação das cinzas de CDPP, CDPE, COCE e EUCA



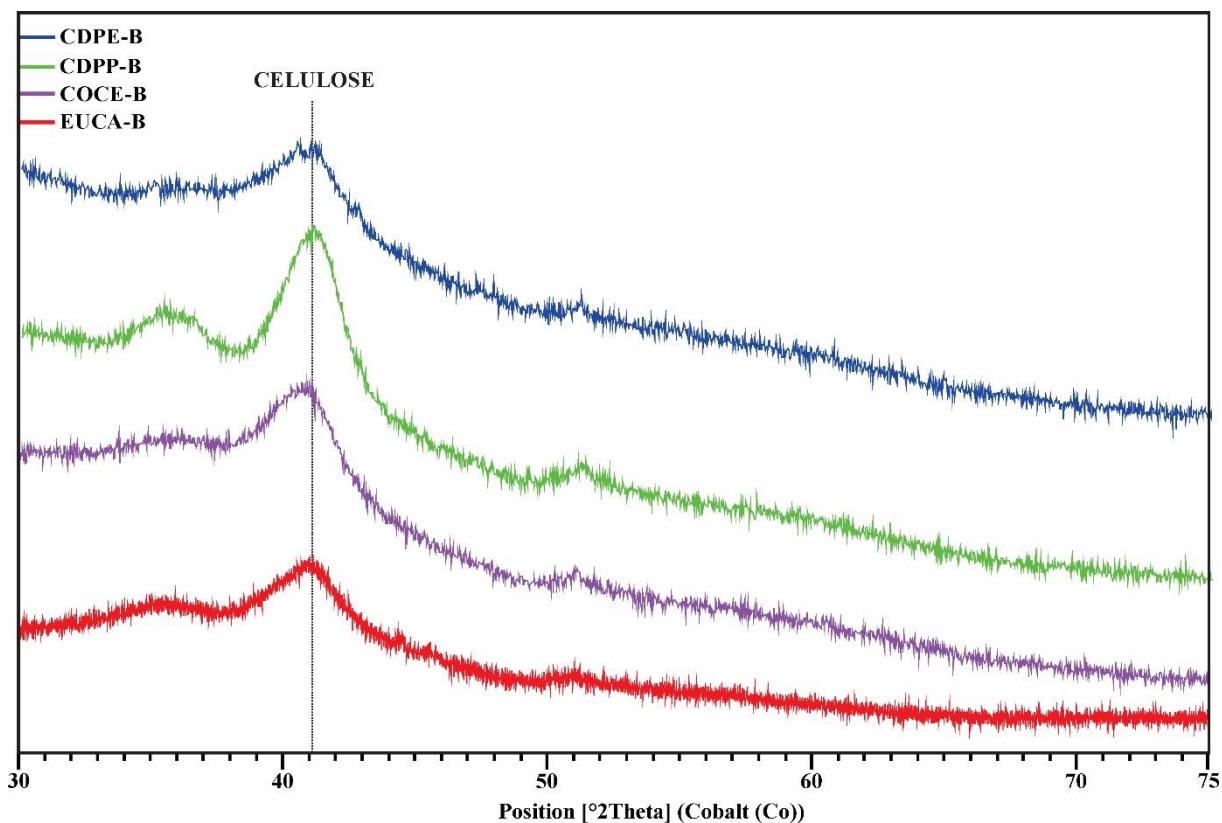
Fonte: VASSILEV et al., 2010.

## 4.2 Análise Mineralógica

### 4.2.1 Análise Mineralógica das Biomassas

Os difratogramas das quatro biomassas (Figura 22) apresentaram um pico largo e assimétricos posicionado entre 39° e 42° 2θ, o que está de acordo com o padrão amorfo observado por EVAIR (2011) que é típico de estruturas lignocelulósicas. E segundo POLLETO et al. (2012) esses picos são identificadores dos componentes da celulose nas biomassas. Podemos também notar que no difratograma da CDPP-B seus picos apresentaram maior intensidade e menor largura, este padrão pode descrever maior regularidade na formação da estrutura cristalina da celulose que as demais biomassas (DARMAWAN et al. 2016), outros picos com menor intensidade podem estar relacionados a sílica (SiO<sub>2</sub>) na estrutura cristalina de tridimita ou quartzo alfa (NAKANISHI, 2013), essa sílica pode ter sua origem de diversas áreas, mas é mais provável que seja fonte de contaminação, pois geralmente mesmo após a lavagem grande parte desse material ainda consegue permanecer nessa biomassa.

Figura 22 – Padrões difratométricos das quatro biomassas *in natura*: Eucalipto (EUCA-B), endocarpo do coco (COCE-B), pericarpo (CDPP-B) e endocarpo da Castanha-do-pará (CDPE-B).



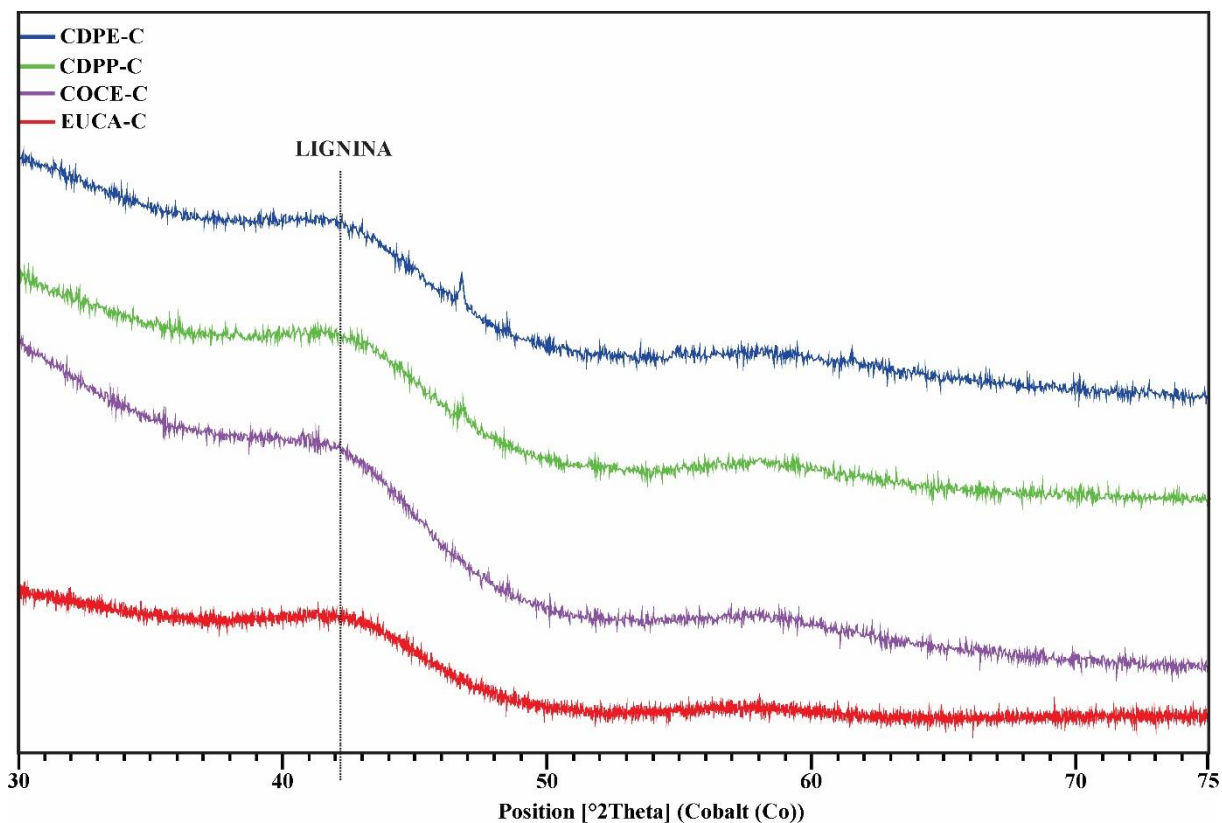
Fonte: Autor.

#### 4.2.2 Análise Mineralógica dos Carvões

Como mostra a Figura 23, foi possível observar uma mudança no padrão difratométrico das quatro biomassas *in natura* quando transformada em carvão vegetal por processo de pirólise, ou seja, houve a transformação de uma estrutura lignocelulósica para uma estrutura turbostrática. O pico alargado formado entre 40° e 43° 2θ, foi destruído e formou-se um pico alargado e assimétrico em torno de 26,2° 2θ. (KUMAR et al., 1993; SCHETTINO JR. et al 2007)

Esse processo foi ocasionado, possivelmente, pela perda de água e hemicelulose, onde a estrutura primária da biomassa deu lugar a estruturas amorfas, sob a forma de partículas microcristalinas da ordem de alguns décimos de nanômetro, compostas de planos semelhantes a grafite, que são formados por compostos aromáticos do carvão, esse halo formado está relacionada possivelmente devido a região cristalina da lignina presente nos carvões, o teor dessa lignina consegue dar uma boa impressão se o carvão terá ou não um bom potencial como combustível para utilização em larga escala (KUMAR et al., 1993; SCHETTINO JR. et al 2007; VASSILEV et al., 2012).

Figura 23 – Padrões difratométricos dos carvões produzidos a partir das quatro Biomassas: Eucalipto (EUCA-C), endocarpo do coco (COCE-C), pericarpo (CDPP-C) e endocarpo da Castanha-do-pará (CDPE-C).



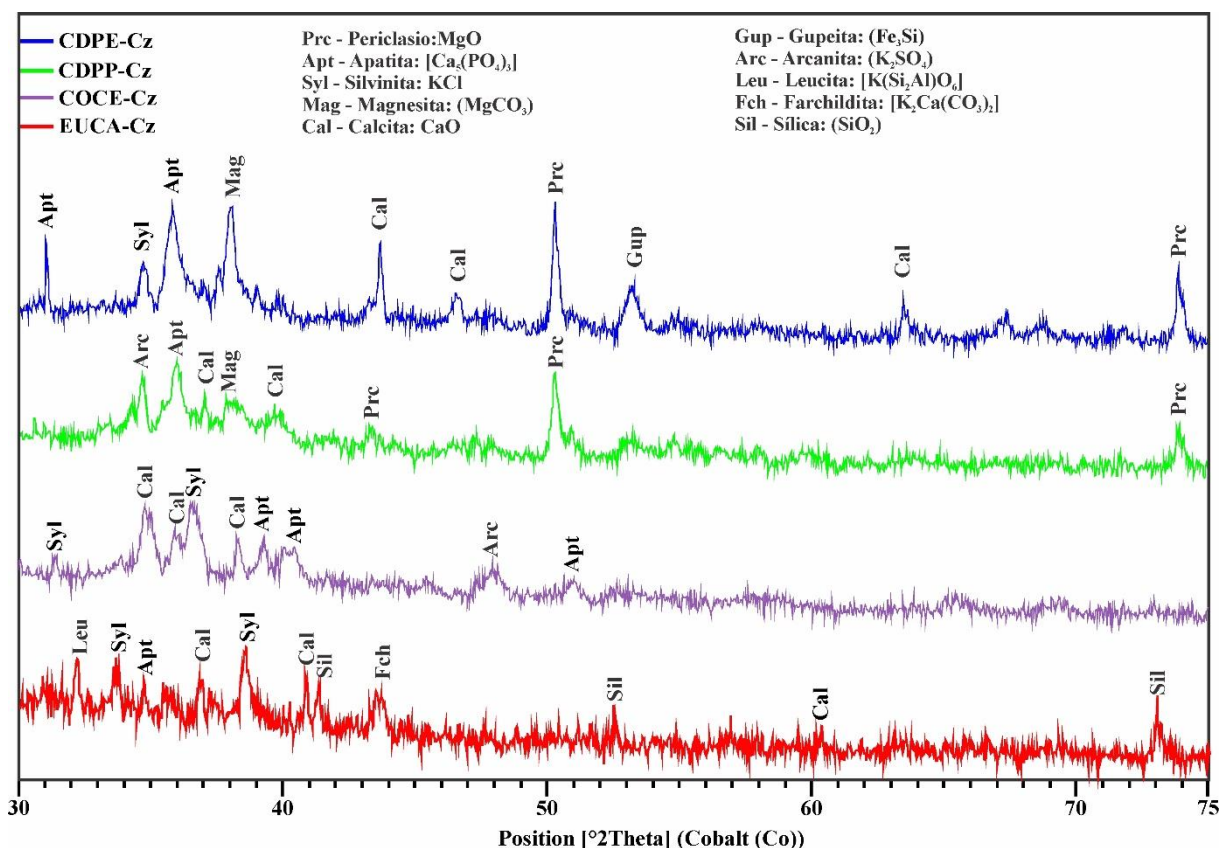
Fonte: Autor.

#### 4.2.3 Análise Mineralógica das Cinzas

Com o processo de combustão dos carvões das quatro biomassas, praticamente todo o carbono fixo nelas contido foi perdido e permaneceu apenas as cinzas que, como mostrado na Figura 24, são compostos por uma ampla variedade de minerais (DAROLT & OSAKI, 1991; TRUGILHO et al., 2004).

A identificação dos componentes minerais das cinzas, em conjunto com as análises químicas elementares, conferiu às cinzas um bom potencial como fertilizante alternativo, devido a presença dos minerais arcanita ( $K_2SO_4$ ), silvita (KCl) e apatita  $Ca_5(PO_4)_3$ , somado a isso, as cinzas também apresentaram um alto teor alcalino, devido a presença dos minerais calcita (CaO), periclásio (MgO), apatita e magnesita ( $MgCO_3$ ), o que indica que as cinzas presentes em todas as biomassas apresentam além de fornecedoras de nutrientes para as plantas, também podem ser utilizadas como corretoras de acidez nos solos, em especial a apatita, pois é bastante utilizada na produção de superfosfatos, termofosfatos e fosfatos acidulados com composição variada (DAROLT & OSAKI, 1991; FONSECA et al., 1996; TRUGILHO et al., 2004; VASSILEV et al., 2010).

Figura 24 – Padrões difratométricos das cinzas produzidos a partir das quatro Biomassas: Eucalipto (EUCA-C), endocarpo do coco (COCE-C), pericarpo (CDPP-C) e endocarpo da Castanha-do-pará (CDPE-C).



Fonte: Autor.

### 4.3 Análises Morfológicas das cinzas

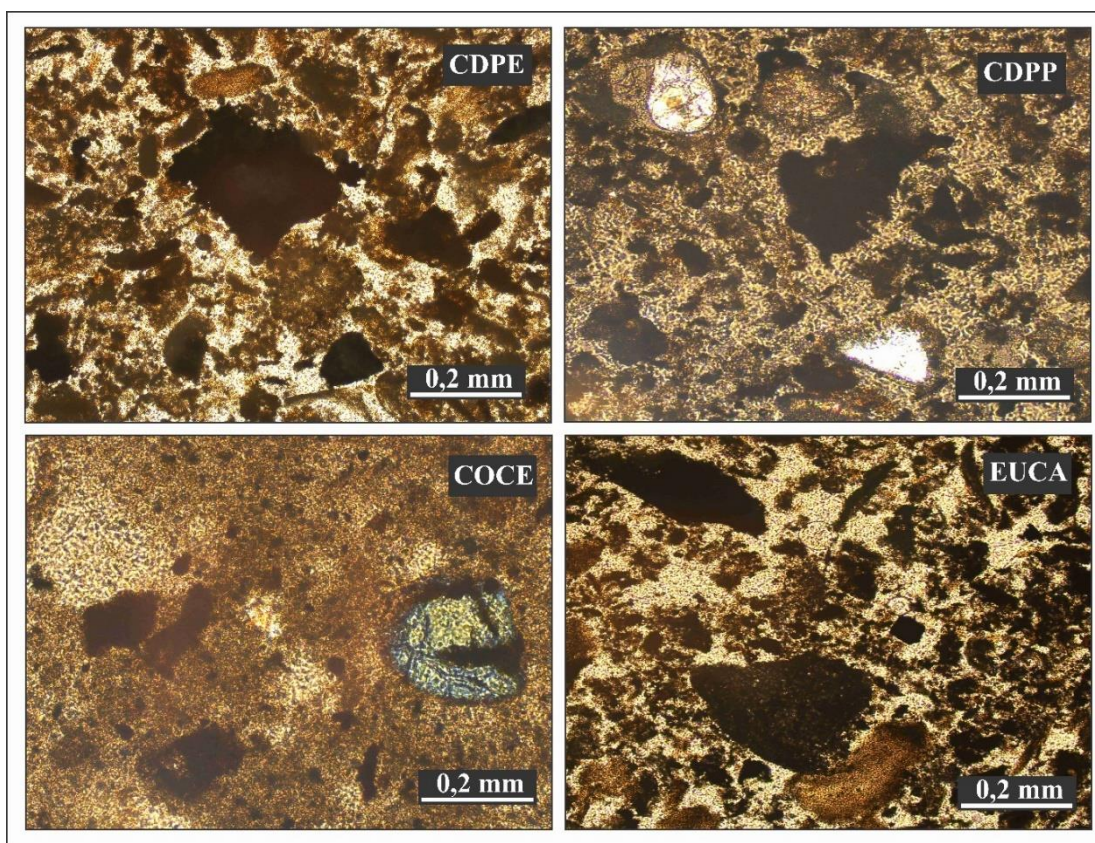
#### 4.3.1 Análise de Microscopia Óptica

Na figura 25 podemos observar as quatro micrografias das cinzas, CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz, todas as imagens foram realizadas com uma ampliação de 0,2 mm, utilizando nicóis cruzados.

Ocorreu um pouco de dificuldade de analisar as lamina devido o pouco material na literatura sobre micrografia de cinzas de biomassa, entretanto, com o auxílio das demais análises principalmente Mineralógica e Química Elementar podemos chegar a algumas conclusões sobre algumas lamina.

Na lamina de CDPE-Cz e CDPP as regiões mais escura possivelmente são atribuídas ao mineral periclásio, e na lamina de COCE-Cz a região mais clara é atribuída ao mineral apatita, na lamina de EUCA-Cz não foi possível identificar nem um mineral com precisão, necessitando para isso, do auxílio da análise de MEV, para aferir algum mineral com mais precisão.

Figura 25 – Análise de Microscopia Óptica das cinzas das quatro biomassas



Fonte: Autor.

### 4.3.2 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura

#### 4.3.2.1 CDPE-Cz

Na microscopia eletrônica por varredura do CDPE-Cz (Figuras 26a e 26b), especificamente na figura 26a, podemos observar que no ponto 1 compreende uma grande quantidade de Ca, O e P, logo de acordo com a análise mineralógica essa região é composta pelo mineral apatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ ] o que é comum nas cinzas do tipo K.

No ponto 2 da figura 26a, bem como, na região 3 da figura 26b foram encontradas grandes quantidades de C e O, o que segundo a literatura trata-se de carbono não queimado, ou seja, resíduos da composição turbostrática do material na forma de carvão (HWANG et al., 2002; CORDEIRO et al., 2008).

E no ponto 3 da figura 26a, juntamente com o ponto 1 e região 2 da figura 26b foram encontradas altas taxas do elemento potássio, o que nos leva a crer que se atribuem aos minerais silvinita (KCl) e/ou arcanita ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), o que corrobora com outros autores (VASSILEV et al. 2010).

#### 4.3.2.2 CDPP-Cz

Nas micrografias do CDPP-Cz (figuras 26c e 26d), podemos observar que os 3 pontos escolhidos da figura 26c, juntamente com o ponto 2 da figura 26d demonstram grandes quantidades de cálcio, possivelmente advindo dos minerais calcita (CaO) e/ou apatita  $[Ca_5(PO_4)_3]$ , o que classifica essa cinza em tipo K de baixa acidez (VASSILEV et al. 2010), corroborando com os resultados do DRX. E no ponto 1 e 3 da figura 26d foram encontradas grandes quantidades C e O, juntamente com uma pequena quantidade de potássio e fosforo, o que novamente nos remete a carbono não queimado, além disso, nessa micrografia fica bastante evidente a alta porosidade do material, característica comum em micrografias de carvões (SCHETTINO JR. et al 2007).

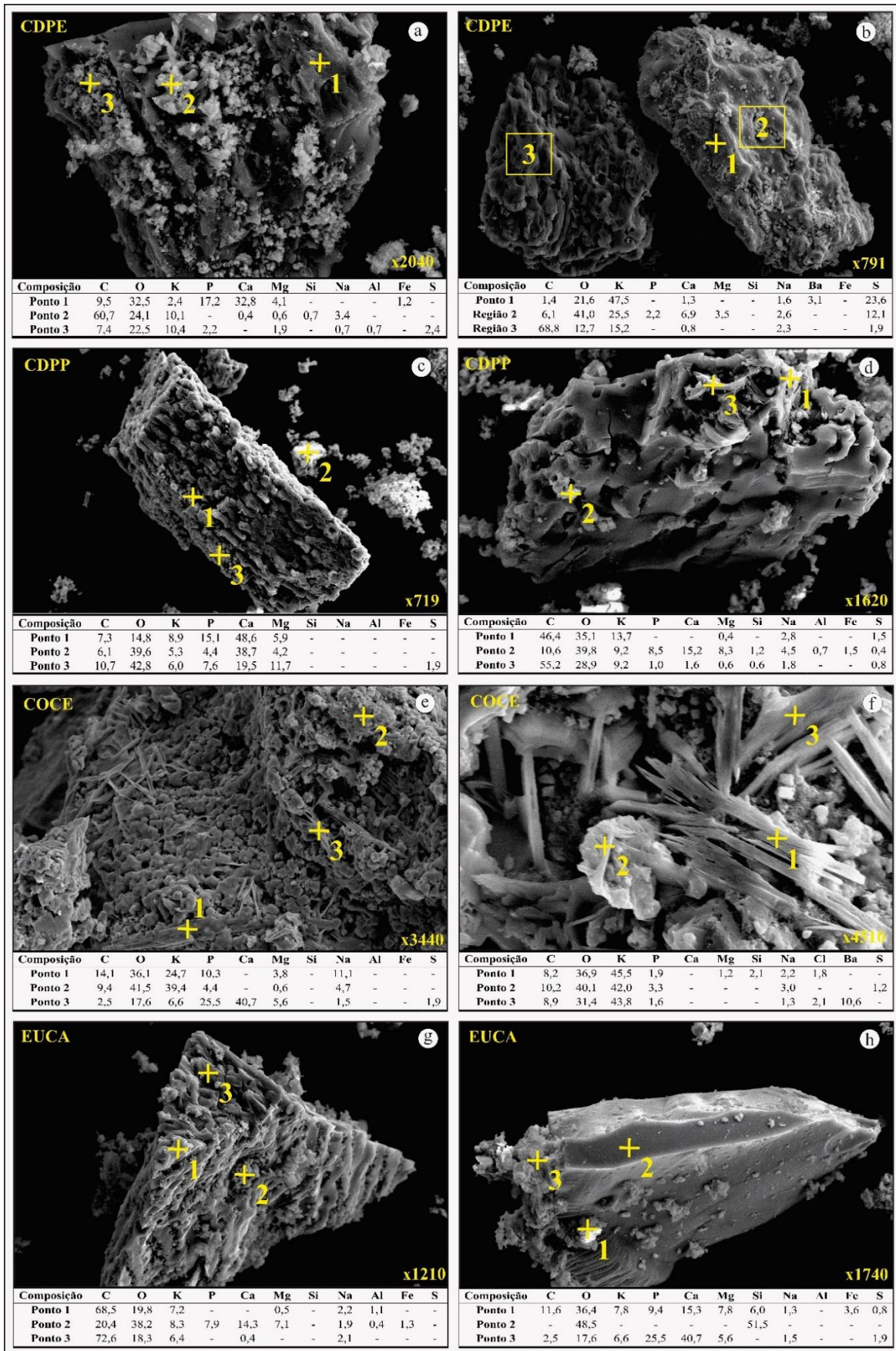
#### 4.3.2.3 COCE-Cz

Nas micrografias do COCE-Cz (figuras 26e e 26f) foram encontrados no ponto 1 e 2 da figura 26e, bem como, em todos os 3 pontos marcados da micrografia da figura 26f uma grande quantidade de K e O assim como foi observado no ponto 3 do CDPE-Cz, o que nos leva a crer quando comparamos com a análise mineralógica dessa cinza, que se trata possivelmente do mineral silvinita. E no ponto 3 da figura 26e assim como no CDPE-Cz, bem como do CDPP-Cz foram encontradas regiões ricas em Ca, P e O, o que provavelmente trate-se do mineral apatita  $[Ca_5(PO_4)_3]$ , o que está de acordo com o que foi encontrado na análise mineralógica, bem como pela análise química elementar, corroborando também com o que foi analisado por outros autores (VASSILEV et al. 2010).

#### 4.3.2.4 EUCA-Cz

Nas micrografias do EUCA-Cz (figuras 26g e 26h) foram encontrados no ponto 1 e 3 da figura 26g quantidades significativas de C e O, o que mais uma vez, possivelmente pode tratar-se de resíduo de material turbostrático (HWANG et al., 2002). As quantidades de potássio e fosforo encontradas no ponto 2 da figura 26g e ponto 1 e 3 da figura 26h, segundo o DRX são advindos dos minerais farchildita  $[K_2Ca(CO_3)_2]$  e leucita  $[K(Si_2Al)O_6]$ . E ponto 2 da figura 26h foi encontrado basicamente Si e O, esses elementos possivelmente estão atrelados ao quartzo ( $SiO_2$ ), segundo AHMARUZZAMAN (2010) e CACURO & WALDMAN (2015) esses minerais podem estar ligados a contaminação, pois mesmo após a lavagem eles frequentemente conseguem se fixar no material.

Figura 26 –MEV das cinzas de biomassa (a) e (b) CDPE; (c) e (d) CDPP; (e) e (f) COCE e (g) e (h) EUCA.



Fonte: Autor

## 4.4 Análises Térmicas das Amostras

### 4.4.1 Análise Termogravimétrica

Através do tratamento térmico nas biomassas por análise termogravimétrica, foi notado que elas apresentaram comportamentos bem similares (Figura 27), envolvendo faixas de temperatura de decomposição próximas, isso pode ter ocorrido devido ao fato de todas as biomassas serem formadas em maior ou menor grau por uma estrutura lignocelulósica (SUHAS et al., 2007).

Segundo REED e WILLIAMS (2004), a diminuição inicial da massa das biomassas é completada em 120 °C, e isso é devido tanto pela evaporação da umidade do material da biomassa, quanto pela degradação da hemicelulose o que é corroborado também por outros autores (GARCIA-REYES et al., 2009; CORRADINI, 2009).

A principal degradação para as diferentes biomassas ocorre na segunda etapa, começando em uma temperatura entre 240 e 280 °C e é completada entre 380 e 415 °C. A partir desse momento ocorre uma perda gradual da massa com o aumento da temperatura (Tabela 16).

Tabela 16 – Perda de massa nas principais temperaturas de degradação da biomassa

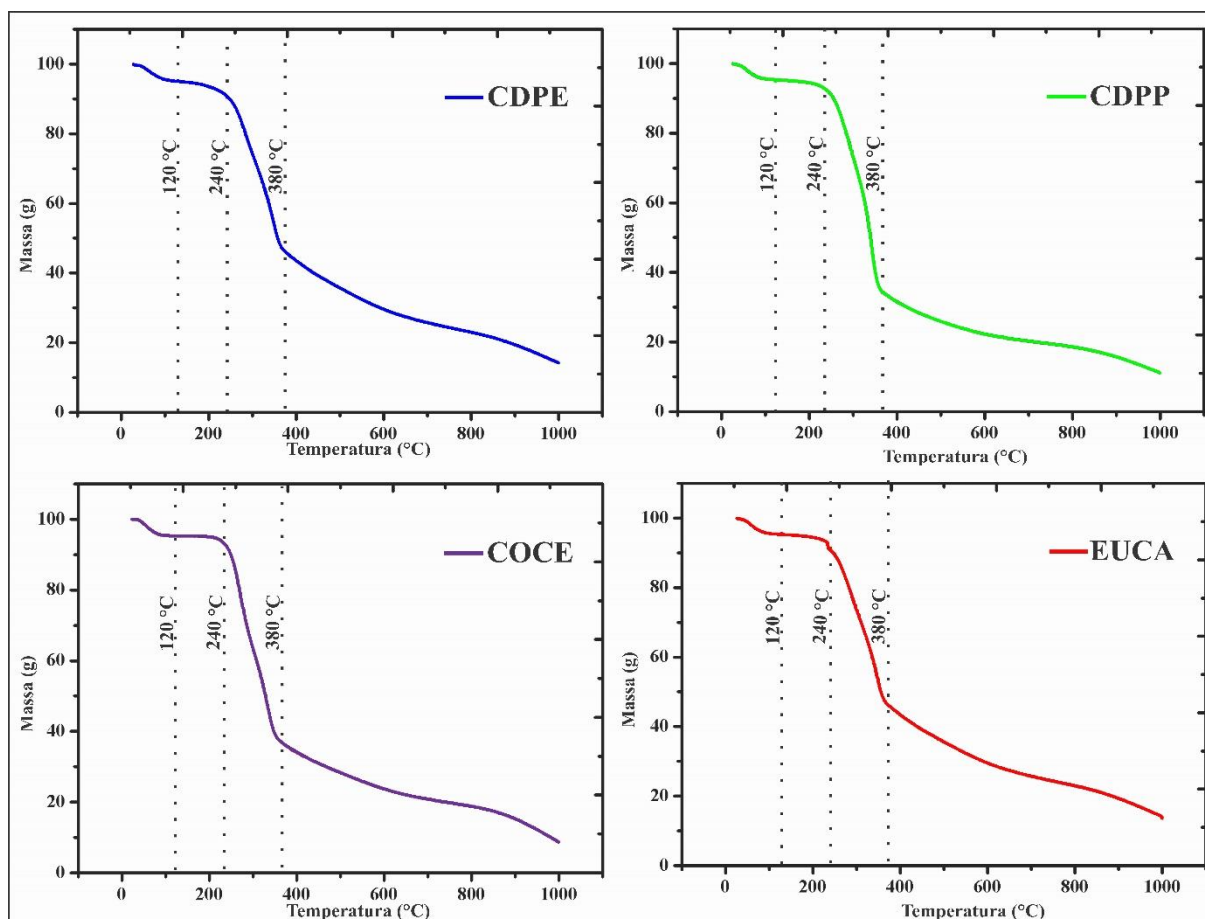
Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)			
	EUCA-B	COCE-B	CDPP-B	CDPE-B
120	4,77	4,72	4,65	4,85
380-415	46,55	33,63	30,92	42,62
1000	88,91	91,30	85,81	88,85

Fonte: Autor

Podemos observar que a 120 °C as biomassas tiveram perdas de massa bem próximas variando entre 4,72 % (COCE-B) a 4,85 % (CDPE-B), esse resultado é próximo de outras biomassas na literatura sob a mesma temperatura (CORRADINI, 2009).

Na segunda etapa entre 380 e 415 °C a biomassa que mais perdeu massa foi a CDPP-B (30,92 %), e a que menos perdeu massa foi a de CDPE-B (42,62 %), essas perdas são ocasionadas pela degradação principalmente da celulose e hemicelulose que se degradam em temperaturas entre 250-350 °C e 300-415 °C respectivamente (SUHAS et al., 2007), a distinção entre os gráficos termogravimétricos deve-se provavelmente a diferente quantidade de hemicelulose, celulose e lignina nas amostras estudadas.

Figura 27 – Análises termogravimétricas das biomassas



Fonte: Autor.

#### 4.4.2 Identificação dos grupos funcionais

##### 4.4.2.1 Espectrograma das Biomassas *in natura*

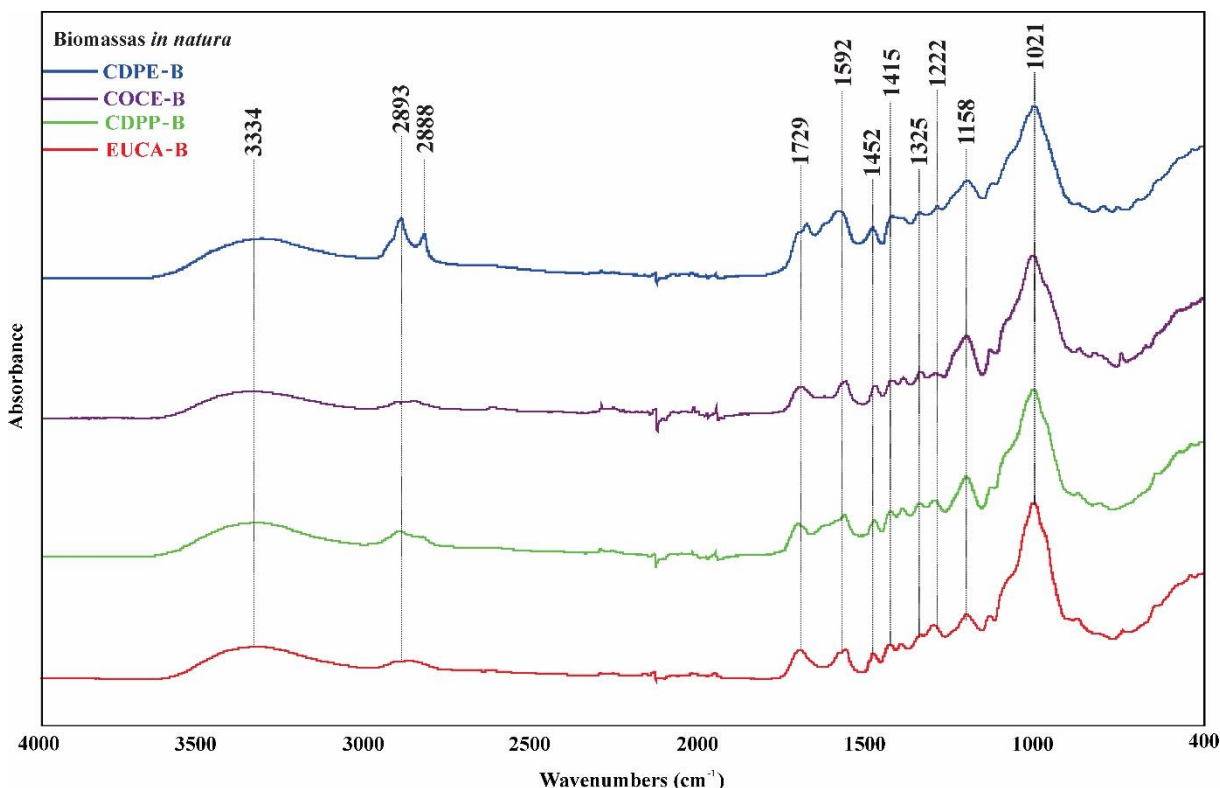
Os resultados obtidos por FTIR das biomassas estão expostos Figura 28, os quais apresentam regiões de informações que variam entre  $3600$  a  $2800\text{ cm}^{-1}$  e  $1800$  a  $600\text{ cm}^{-1}$ .

As bandas de absorção presentes entre  $3600$  a  $3000\text{ cm}^{-1}$  são conferidas pelas ligações de O-H que podem pertencer a grupos funcionais como fenóis, álcoois, ácidos carboxílicos e água que não foi absorvida totalmente pela amostra (GARCIA-REYES et al., 2009). Isso ocorre porque o grupo hidroxila participa de ligações com hidrogênio na faixa de  $3550$  a  $3200\text{ cm}^{-1}$ , e os demais grupos que não participam desta ligação absorvem próximo de  $3600\text{ cm}^{-1}$ . As bandas posicionadas entre  $3000$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas às vibrações simétricas e assimétricas do grupo metoxila C-H de cadeias alifáticas. (SILVERSTEIN et al., 2007; POPESCU et al., 2009).

Segundo BOERIU et al., (2004), existem bandas de absorção presentes entre  $1800$  a  $600\text{ cm}^{-1}$  que são referentes a estiramento de anéis aromáticos de C=C e C=O contidos na estrutura lignina ( $1592$ ,  $1452$  e  $1222\text{ cm}^{-1}$ ), de

C-O presentes na hemicelulose ( $1729$  e  $1021$   $\text{cm}^{-1}$ ) e de C-O-C presentes na celulose ( $1592$ ,  $1452$ ,  $1415$ ,  $1325$ ,  $12222$ ,  $1162$ ,  $1158$  e  $1021$   $\text{cm}^{-1}$ ) (BOERIU et al., 2004; POPESCU et al., 2009; SANTOS et al., 2016).

Figura 28 – Espectrogramas das amostras na forma *in natura*



Fonte: Autor

#### 4.4.2.2 Espectrograma dos carvões

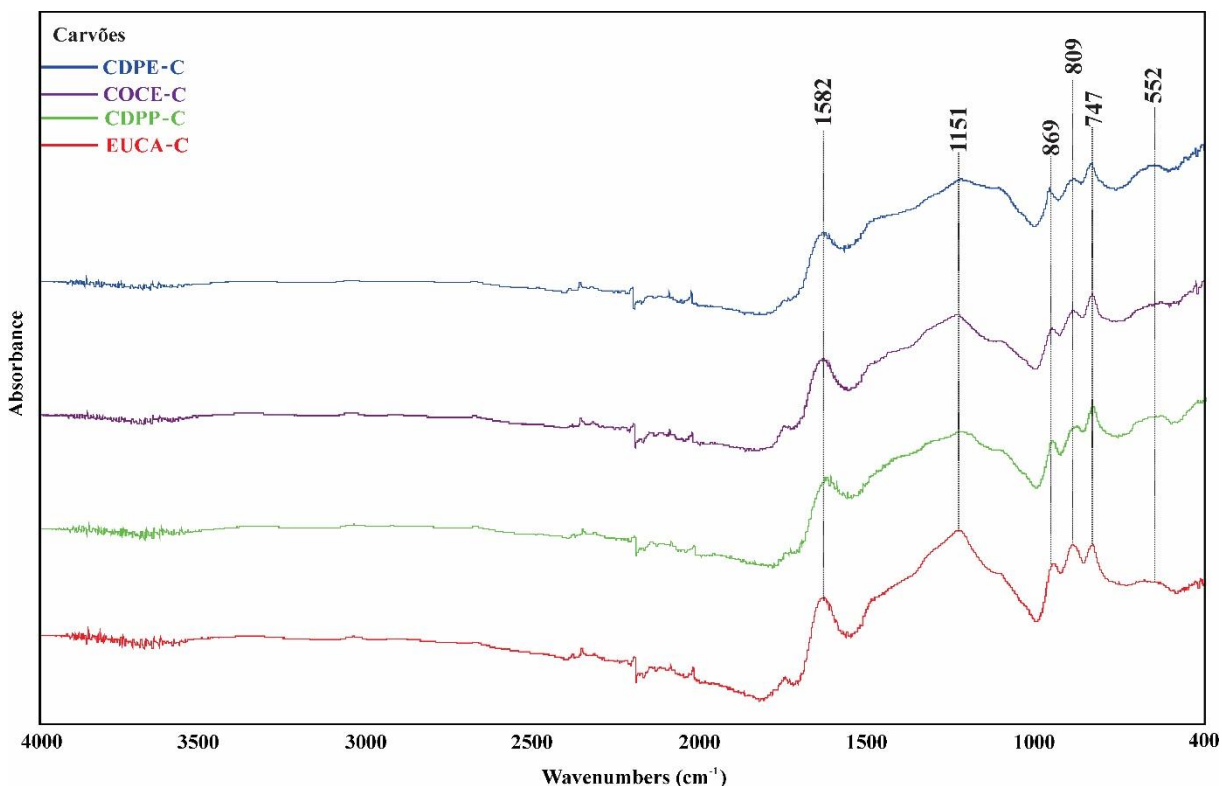
Os resultados obtidos por FTIR dos carvões de endocarpo e pericarpo da castanha-do-Pará, endocarpo de coco e eucalipto (CDPE-C, CDPP-C, COCE-C e EUCA-C), estão expostos nos espectros de infravermelho da Figura 29, os quais apresentam uma região rica em informações que se concentra entre  $1600$  e  $500$   $\text{cm}^{-1}$ .

Com o processo de pirólise das biomassas *in natura*, a banda de absorção em  $3434$   $\text{cm}^{-1}$ , referente ao estiramento do grupo OH (GARCIA-REYES et al., 2009), foi atenuada, pois houve a liberação da água de constituição e outros grupos funcionais que até então estavam ligados à parede da célula vegetal (DAVRIEUX et al., 2010; SANTOS et al., 2016). Além disso, as ligações C-H, presentes no grupo metoxila da região de  $2800$   $\text{cm}^{-1}$  também foram consumidas durante o processo de pirolise (SILVERSTEIN et al., 2007), esse grupo funcional estava em maior quantidade na CDPE-B.

Na formação do carvão, além da formação das ligações de carbono, assinaladas pelas

bandas de absorção presentes na região espectral entre  $1600$  a  $1400\text{ cm}^{-1}$ , também houve a formação de redes aromáticas de CH com bandas centralizadas em  $869$ ,  $809$  e  $747\text{ cm}^{-1}$  (DAVRIEUX et al., 2010).

Figura 29 – Espectrogramas das amostras na forma de carvão



Fonte: Autor.

#### 4.4.2.3 Espectrograma das cinzas

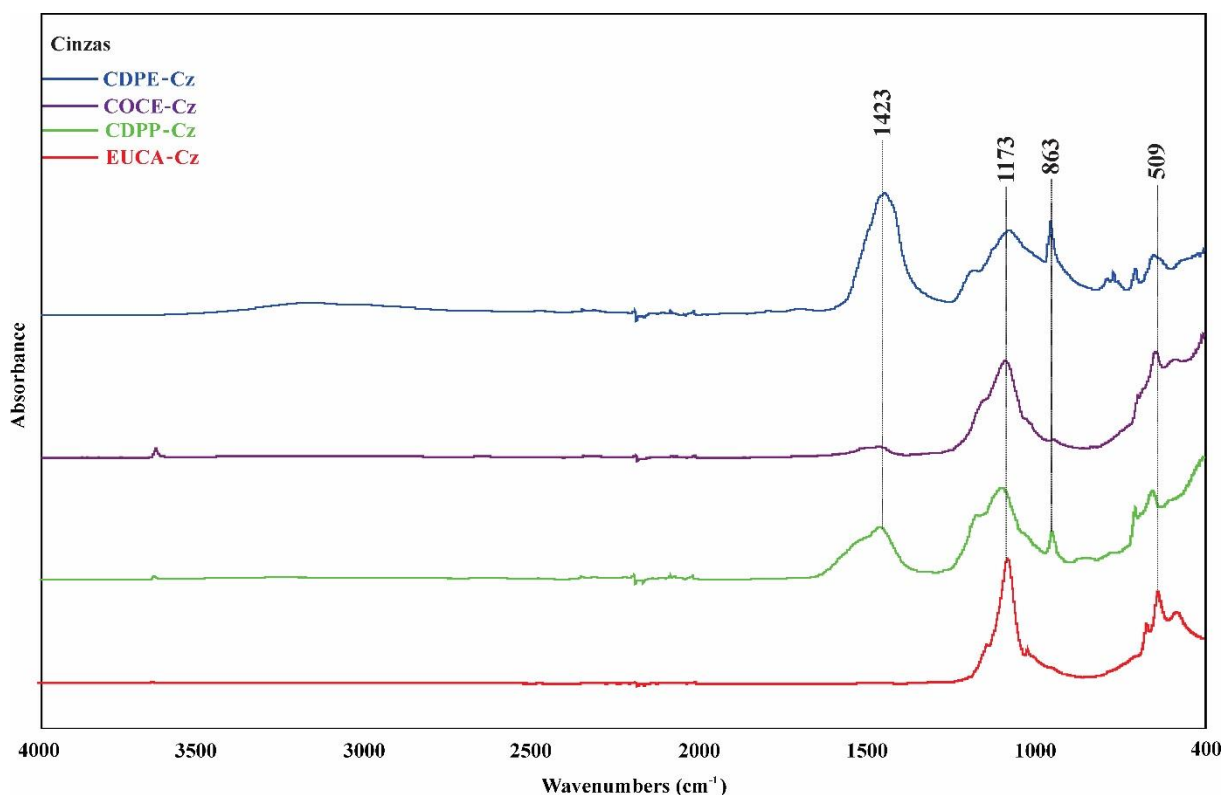
Os resultados obtidos por FTIR das cinzas de endocarpo e pericarpo de castanha-do-pará, endocarpo de coco e eucalipto (CDPE-Cz, CDPP-Cz, COCE-Cz e EUCA-Cz), estão expostos nos espectros de infravermelho da Figura 30, os quais apresentam uma região rica em informações que se concentra entre  $1400$  e  $500\text{ cm}^{-1}$ .

Com o processo de combustão do carvão, todas as ligações simples e duplas do carbono fixo foram destruídas, restando apenas as ligações referentes aos componentes inorgânicos das cinzas, podemos observar nos seus espectros de infravermelho o aparecimento de bandas nas posições  $1423\text{ cm}^{-1}$  e  $863\text{ cm}^{-1}$  tanto para o CDPE-Cz, quanto para o CDPP-Cz, essas bandas segundo BESSLER e RODRIGUES (2008) são referentes a estiramento anti-assimétrico e deformação angular fora do plano, respectivamente, de poliamorfos de cálcio, o que foi corroborado também por CERQUEIRA E TEXEIRA (2009).

A banda na faixa de  $1173\text{ cm}^{-1}$  que apareceu em todas as cinzas, de modo que, sua

intensidade foi a mais expressiva na EUCA-Cz e COCE-Cz, é referente a grupos siloxanos (Si-O-Si) na forma de silício (FOO et al., 2009), e a banda encontrada na região de  $509\text{ cm}^{-1}$  está relacionada a sílica amorfa (FOO et al., 2009), o que denotada uma parcela amorfa contida nas cinzas.

Figura 30 – Espectrogramas das amostras na forma de cinza



Fonte: Autor.

#### 4.4.3 Poder Calorífico Superior e Inferior das biomassas

O poder calorífico superior representa a máxima energia disponível no combustível. O Poder calorífico Inferior apresenta o valor de PCS subtraída com a energia necessária para vaporizar a água contida na amostra. A Tabela 17 exhibe os valores de poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI).

Tabela 17 – Resultados do Poder Calorífico (em base seca) das biomassas

Amostras	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
CDPE	21173	19738
CDPP	19822	18452
COCE	20576	19164
EUCA	19158	17714

Fonte: Autor

O poder calorífico superior das espécies estudadas apresentou valores entre 19158 kJ/kg a 21173 kJ/kg, denota-se que todas as biomassas agrícolas possuem valores de PCS maiores que as do EUCA (Biomassa florestal), motivo pelo qual essas biomassas demonstram um bom potencial a vir substituir essa biomassa na produção de energia, o que foi proporcional a estudos feitos por PADILLA et al. (2018) e VIEIRA (2012), mostrados na Tabela 18 abaixo.

Tabela 18 – Poder Calorífico Superior de diversas biomassas

<b>Biomassa</b>	<b>PCS (KJ.kg-1)</b>
Cascas de Castanhas	20470,30
Eucalipto	18420,00
Casca de coco	18670,00
Casca de Arroz	16775,60
Restos de Algodão	16775,60
Lenha	12958,00
Sabugo de Milho	18972,60
Bagaço de Cana	8903,40
Madeira Picada	20470,30
Carvão	30900,00

Fonte: VIEIRA, 2012; PADDILLA et al., 2018.

## 5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa demonstrou que as cinzas de biomassa amazônicas de endocarpo e pericarpo de *Bertholletia Excelsa* (castanha-do-pará) e do endocarpo do *Cocos Nucifera* (coco) se apresentam promissoras para investimentos em estudos voltados para a sua utilização como fornecedora de nutrientes para as plantas, bem como, corretora de acidez de solos; pois apresentam teores consideráveis de nutrientes importantes para as plantas como Ca, K, P e Mg, que, de acordo com o seu conteúdo mineralógico, tais elementos encontram-se em fases solúveis em água ou em ácidos fracos produzidos pelas raízes das plantas.

Além disso, as biomassas amazônicas apresentaram valores de PCS mais elevados que de biomassas florestais, apresentando assim uma alternativa viável para seu uso industrial como fonte de energia.

Embora a quantidade de cinzas geradas pelas biomassas analisadas seja relativamente pequena, elas representam uma fonte alternativa importante para obtenção de nutrientes inorgânicos para produção de fertilizantes, uma vez que o Brasil, embora seja uma potência na produção de alimentos, a sua deficiência em matérias-primas para produções de fertilizantes o coloca em situação de vulnerabilidade frente ao mercado internacional. Além disso, esses resíduos em grandes quantidades podem representar riscos ao meio ambiente, pois a sua reciclagem ainda não é uma prática comum. Dessa forma, a utilização das cinzas na produção agrícola representa uma alternativa sustentável e economicamente viável.

## REFERÊNCIAS

- AHMARUZZAMAN, M. A review on the utilization of fly ash. **Progress In Energy And Combustion Science**, [s.l.], v. 36, n. 3, p.327-363, jun. 2010. Elsevier BV.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Estatísticas. Disponível em [www.anda.org.br/estatisticas](http://www.anda.org.br/estatisticas). Acessado em: 08 de mar de 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: junho de 2018.
- ASTM D1762-84(2013), Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- BAMSEY, Matthew T.; BERINSTAIN, Alain; DIXON, Michael A. Calcium-selective optodes for the management of plant nutrient solutions. **Sensors And Actuators B: Chemical**, [s.l.], v. 190, p.61-69, jan. 2014. Elsevier BV.
- BARBOSA, Marcelo Augusto M.; MORET, Artur Souza. Produção e comercialização da castanha do brasil: economia e disponibilidade financeira (subsistência das famílias residentes em reservas extrativistas). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 4, n. 2, p.413-428, 9 out. 2015. Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL
- BENASSI, A. C.; RUGGIERO, C.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, J. A. A., Rev. Bras. Frutic., 29 (2006) 302-307;
- BERGMAN, P.C.A., A.R. BOERSMA, R.W.R. ZWART, and J.H.A. KIEL. 2005. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations “BIOCOAL”, ECN, ECN-C-05-013.
- BESSLER, Karl E.; RODRIGUES, Laécio C. Os polimorfos de carbonato de cálcio: uma síntese fácil de aragonita. **Química Nova**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.178-180, 2008. FapUNIFESP (SciELO).
- SILVA, Cassia Roberta Pontes. Biomassa gerada a partir da Terminalia cattapa L. (castanheira): estudo do seu potencial energético. 2012. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.
- BEZERRA, Francisco; SANTOS, Lucas. Indústria da construção. Caderno setorial ETENE, Fortaleza, ano 2, n. 1, p. 2-18, jan. 2017. Publicação do BNB.
- BOERIU, Carmen G. et al. Characterisation of structure-dependent functional properties of lignin with infrared spectroscopy. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.205-218, set. 2004. Elsevier BV.
- BOJANIC, Alan J., “Balance is Beautiful: Assessing sustainable development in the rain forests of the Bolivian Amazon”, PhD dissertation, p. 62, 2005.

BONASSA, Gabriela et al. Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 82, p.2365-2378, fev. 2018. Elsevier BV.

BOTELHO, Fernando M. et al. Sorption isotherms of Brazil nuts. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 23, n. 10, p. 776-781, Oct. 2019.

BRASIL. Decreto-lei nº 4.954, de 14 de jan. de 2014. **Normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura**, Brasília, DF, jan 2014.

CACURO, Thiago A.; WALDMAN, Walter R. Fly-Ash from Biomass Burning: Applications and Potentialities. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.2154-2165, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

CAVALCANTE, Leandro Vieira. **A NOVA GEOGRAFIA DO COCO: REESTRUTURAÇÃO PRODUTIVA, TERRITORIALIZAÇÃO DO CAPITAL E DINÂMICAS SOCIOESPAÇIAIS**. 298 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

CELLA, D.; ROSSI, M. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 7, n. 1, p. 41-50, 11.

CERQUEIRA, Wildson V.; TEIXEIRA, Ana Maria R. F. Avaliação da formação de polimorfos de carbonato de cálcio por termogravimetria e por espectroscopia do Infravermelho. In: Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química, 32, 2009, São Paulo. Anais... São Paulo: SBQ, 2009. CD-ROM

CHAVES, F.F.R., LUZ, A.B., CASTILHOS, Z.C. 2010. Agrominerais para o Brasil. CETEM - Centro de Tecnologia Mineral. 1-297 p.

CHEN, J; LÜ, S; ZHANG, Z; ZHAO, X; LI, X; Li, X; NING, P; LIU, M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 613-614, p.829-839, fev. 2018. Elsevier BV.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015. Proposta de preços mínimos, produtos da sociebiodiversidade , vol.2, safra 2015/2016, Brasília.

CONTINI, E.; MARTHA JUNIOR, G. B. Brazilian agriculture, its productivity and change. Bertebos Conference on “Food security and the futures of farms: 2020 and toward 2050”. Falkenberg: Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry, August 29-31, 2010.

CORDEIRO, G.c. et al. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.410-418, maio 2008. Elsevier BV.

CORRADINI, Elisângela et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 31, n. 3, p.837-846, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO).

CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; AYARZA, J.A.C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: (org). "Biomassa para energia". Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.

COSTA, D. F. Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

CUENCA, M.A.G. Estatísticas da cocoicultura no Brasil 1942/2001. Aracaju:Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.67p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 29).

DARMAWAN, Saptadi et al. Characterization of Lignocellulosic Biomass as Raw Material for the Production of Porous Carbon-based Materials. **Bioresources**, [s.l.], v. 11, n. 2, 29 fev. 2016. BioResources.

DAROLT, M.R; OSAKI. F. Efeito da cinza de caeira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. 1989, 33p. In: Calagem & Adubação. Campinas,SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola,-1991.

DAVRIEUX, Fabrice et al. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Química Nova**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.1093-1097, 2010.

DONADIO, L. C.; MÔRO, F. V.; SERVIDONE, A. A.; Frutas nativas. São Paulo: Novos Talentos, 2002.

DUNG, Tran et al. Release of Trace Elements from Bottom Ash from Hazardous Waste Incinerators. **Recycling**, [s.l.], v. 3, n. 3, p.36-47, 14 ago. 2018. MDPI AG.

ELINWA, A.u.; EJEH, S.p.. Effects of the Incorporation of Sawdust Waste Incineration Fly Ash in Cement Pastes and Mortars. **Journal Of Asian Architecture And Building Engineering**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.1-7, maio 2004. Informa UK Limited.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: produção e uso de energia. Brasília: EPE, jun. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/zAoHjD>>.

EPSTEIN, Emanuel. MINERAL METABOLISM. **Plant Biochemistry**, [s.l.], p.438-466, 1965. Elsevier BV.

EVAIR, A. S. Características químicas e físicas do carvão de eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*). Viçosa, Minas Gerais. 2011.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2018. World Production. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS/visualize>> Acesso em: Dezembro de 2018.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2019. World Production. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS/visualize>> Acesso em: Março de 2019.

FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREAL, W.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, v.249, p.1-6, 2005.

FLORES, Camila Gomes et al. Potassic zeolites from Brazilian ash for use as a fertilizer in agriculture. **Waste Management**, [s.l.], v. 70, p.263-271, dez. 2017. Elsevier BV.

FONSECA, D. S. Fosfato. In: (Sede) (Org.). *Anuário Nacional Mineral – 2017*. ed. Brasília: ANM, 2018. p. 115-119.

FONSECA, S. M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVEIRA, P.N. *Seleção da árvore industrial*, **Revista Árvore**, v.20, n.1, p. 69-85, 1996.

FONTES, Humberto Rollemberg et al. Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002.

FOO, K.y.; HAMEED, B.h.. Utilization of rice husk ash as novel adsorbent: A judicious recycling of the colloidal agricultural waste. **Advances In Colloid And Interface Science**, [s.l.], v. 152, n. 1-2, p.39-47, nov. 2009. Elsevier BV.

FULLER, Aaron et al. Fly Ash Formation and Characteristics from (co-)Combustion of an Herbaceous Biomass and a Greek Lignite (Low-Rank Coal) in a Pulverized Fuel Pilot-Scale Test Facility. **Energies**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.1581-1599, 15 jun. 2018. MDPI AG.

GARCIA-REYES, Refugio Bernardo; RANGEL-MENDEZ, Jose Rene. Contribution of agro-waste material main components (hemicelluloses, cellulose, and lignin) to the removal of chromium (III) from aqueous solution. **Journal Of Chemical Technology & Biotechnology**, [s.l.], v. 84, n. 10, p.1533-1538, 1 jun. 2009.

GERBAUD, Pierre. Dossier – La noix de coco. *Revue FruiTrop - CIRAD*, Montpellier, n. 193, 2011.

GUO, Yan-chun et al. Co-producing hydrogen and methane from higher-concentration of corn stalk by combining hydrogen fermentation and anaerobic digestion. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 39, n. 26, p.14204-14211, set. 2014. Elsevier.

HILLEL D. **Encyclopedia of soils in the environment**. 1. Ed. v.2. New York. Elsevier. Oct. 2004. 2200p.

HILLEL, Daniel. SOIL FERTILITY AND PLANT NUTRITION. **Soil In The Environment**, [s.l.], p.151-162, 2008. Elsevier BV.

HWANG, J. Y.; SUN, X.; LI, Z.. Unburned Carbon from Fly Ash for Mercury Adsorption: I. Separation and Characterization of Unburned Carbon. **Journal Of Minerals And Materials Characterization And Engineering**, [s.l.], v. 01, n. 01, p.39-60, 2002. Scientific Research Publishing, Inc.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017. SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas: Produção Agrícola Municipal: Série histórica completa – 1974-2015. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil> > Acesso em 15 de janeiro de 2018.

IEA – Agência Internacional de Energia. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br>. Acesso em: junho de 2018.

IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, 2018. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em 15 de janeiro de 2018.

JESUS JÚNIOR, L. A. et al. ANÁLISE DA PRODUÇÃO DA CULTURA DO COCO NO BRASIL, NORDESTE E SERGIPE. **6th International Symposium On Technological Innovation**, [s.l.], p.317-324, 25 set. 2015. Universidade Federal do Sergipe.

JUNIOR, O. F. C. Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica. 2010. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

JÚNIOR, P., AVIZ, W., REBELLO, F. and SANTOS, M. (2019). Sources of Growth and Spatial Concentration of Coconut Crop in the State of Pará, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 11(2), p.159.

KANT, S.; KAFKAFI, U.. Fertigation. **Reference Module In Earth Systems And Environmental Sciences**, [s.l.], p.180-210, 2013. Elsevier BV.

KATARE, Vasudha D.; MADURWAR, Mangesh V.. Experimental characterization of sugarcane biomass ash – A review. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 152, p.1-15, out. 2017. Elsevier BV.

KOLI, Pushpendra; BHARDWAJ, Nitish Rattan; MAHAWER, Sonu Kumar. Agrochemicals: Harmful and Beneficial Effects of Climate Changing Scenarios. **Climate Change And Agricultural Ecosystems**, [s.l.], p.65-94, 2019. Elsevier BV.

KULAIF, Y; GÓES, A.M. Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios. Adolpho Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016. Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 14 de março. Seção 1, p. 10-13. 2016.

KUMAR, A.; SAHORE, S.; BELLAM, N. K. Environmental software from flyers. **Environmental Progress**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.145-161, ago. 1993.

LI, W.z. et al. Improvement of oxidation-resistance of NiCrAlY coatings by application of CrN or CrON interlayer. **Journal Of Materials Research**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.341-352, fev. 2008. Cambridge University Press (CUP).

LI, Y.; ZHOU, L.w.; WANG, R.z.. Urban biomass and methods of estimating municipal biomass resources. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 80, p.1017-1030, dez. 2017. Elsevier BV.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/> Acessado em: 18 abr. 2019.

MARTINS, C. R. JESUS JÚNIOR, L. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: Panorama 2010. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracajú, 2011. (Documentos/Embrapa Tabuleiros Costeiros,). Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_164.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf) >. Acesso em: Dezembro de 2018.

MASCARENHAS, H. A. A.; WUTK, E. B. **Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes**. In: Lima Filho, O. F.; Ambrosano, E. J.; 80 Rossi, F.; Carlos, J. A. D. (Ed.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014, 507p.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: Disponível em: <http://www.mme.gov.br> Acessado em: 17 nov. 2017.

MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G. & MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. R. Árvore, 26:149-154, 2002.

MORITZ, Astrid. *Estudos biológicos da floração e frutificação da castanha-do-brasil*. Belém: EMBRAPA- CPATU, 1984. p. 16.

MOUSA, Elsayed et al. Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 65, p.1247-1266, nov. 2016. Elsevier BV.

MULLER, C. H; FIQUEIREDO, F. J. C; KATO, A. K; CARVALHO, J. E. U.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. B. Castanha do Brasil. Brasília: Embrapa SPI, 1995, 65 p. (Coleção plantar).

NAKANISHI, Erika Yukari. **Cinza residual da queima de biomassa do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) como material pozolânico substituto do cimento Portland**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Animal Production And Quality Control, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

NASCIMENTO, Vicente Franco et al. 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.

NAYAR, N Madhavan. The Coconut in the World. **The Coconut**, London: Academic Press, 2016. 240 p.

OBERNBERGER Ingwald, SUPANCIC Klaus, 2009: Possibilities of ash utilisation from biomass combustion plants. To be published in: Proceedings of the European Biomass Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg, ETA- Renewable Energies (Ed.), Italy.

OLIVEIRA, L. A. M. Potássio. In (Sergipe) (Org.). Anuário Nacional Mineral – 2017. ed. Brasília: ANM, 2018. p. 144-146.

ORTIZ, E.G. 2002. Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*). In: Shanley, P.; Pierce, A.R.; Laird, A.R.; Guillen, A. (Eds.). Tapping the green market: certification & management of non-timber forest products. Earthsan Publications Ltd., Londres, Reino Unido. p. 61-74.

PACHECO, Ariane; SCUSSEL, Vildes M. *Castanha-do-Brasil: da floresta tropical ao consumidor*. Florianópolis: Editograf, 2006. p. 15.

PADILLA, Elias Ricardo D. et al. Energetic Potential of Coconut Shell (*Cocos nucifera* L.) for Use in the Charcoal Production by Pyrolysis. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], p.334-345, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

PAWAR, Sudhanshu S. et al. Biohydrogen production from wheat straw hydrolysate using *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* followed by biogas production in a two-step uncoupled process. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 38, n. 22, p.9121-9130, jul. 2013. Elsevier.

PENNACCHIO, H.L. *Castanha-do-brasil – Proposta de preço mínimo safra 2006/2007*. Editora Mapinguari. Brasília: 2006. p. 08 -10.

PESONEN, Janne et al. Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: Effect of granulation. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 100, p.92-97, maio 2017. Elsevier BV.

PESONEN, Janne et al. Co-granulation of bio-ash with sewage sludge and lime for fertilizer use. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [s.l.], v. 4, n. 4, p.4817-4821, dez. 2016. Elsevier BV.

POLETO, Matheus et al. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 109, p.148-153, abr. 2012. Elsevier BV.

POPESCU, Carmen-mihaela et al. Vibrational spectroscopy and X-ray diffraction methods to establish the differences between hardwood and softwood. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 77, n. 4, p.851-857, 19 jul. 2009. Elsevier BV.

QUIRANTES, Mar; NOGALES, Rogelio; ROMERO, Esperanza. Sorption potential of different biomass fly ashes for the removal of diuron and 3,4-dichloroaniline from water. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 331, p.300-308, jun. 2017. Elsevier BV.

REED, Anton R.; WILLIAMS, Paul T. Thermal processing of biomass natural fibre wastes by pyrolysis. **Fuel And Energy Abstracts**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.267-268, jul. 2004. Elsevier BV.

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 1999. 800p.

SALOMAO, Rafael de Paiva et al. *Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional*. Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Nat., Belém, v. 1, n. 2, p. 65-78, agosto 2006.

SÁNCHEZ, Óscar J.; OSPINA, Diego A.; MONTROYA, Sandra. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, [s.l.], v. 69,

p.136-153, nov. 2017. Elsevier BV.

SANTANA, A.C. de. Análise do desempenho competitivo das agroindústrias de polpa de frutas do Estado do Pará. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa - MG, v. 2, n. 4, p. 495-523, 2004.

SANTOS, Patrícia Soares Bilhalva dos et al. Bio-oil from base-catalyzed depolymerization of organosolv lignin as an antifungal agent for wood. **Wood Science And Technology**, [s.l.], v. 50, n. 3, p.599-615, 12 dez. 2016.

SCHETTINO J.M.A; FREITAS J.C.C., CUNHA A.G., EMMERICH F.G., 2007. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. *Quim. Nova.* (30): 1663-1668.

SHARMA, Abhishek; PAREEK, Vishnu; ZHANG, Dongke. Biomass pyrolysis—A review of modelling, process parameters and catalytic studies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 50, p.1081-1096, out. 2015. Elsevier BV.

SHENA, Tiago. **Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SILVA J. N., SOBRINHO J. C., SAIKI E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via Gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.24, n.2, p.405-411, maio/ago. 2004.

SILVA, Rejane Maria da et al. Caracterização de frutos, sementes, plântulas e germinação de Jeniparana. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 746-751, Oct. 2014.

SILVERSTEIN, Rebecca A. et al. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 98, n. 16, p.3000-3011, nov. 2007. Elsevier BV.

SJAAK VAN LOO (Uk). International Institute For Environment And Development (Ed.). **The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing**. 2. ed. London: Earthscan, 2008. 465 p.

SPANHOL, Alana et al. QUALIDADE DOS PELLETS DE BIOMASSA FLORESTAL PRODUZIDOS EM SANTA CATARINA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA. **Floresta**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.833-845, 21 out. 2015. Universidade Federal do Paraná.

SUHAS; CARROTT, P.j.m.; CARROTT, M.m.l. Ribeiro. Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 98, n. 12, p.2301-2312, set. 2007. Elsevier BV.

TRUGILHO, Paulo Fernando et al. Classificação de clones de Eucalyptus sp visando à produção de polpa celulósica. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 28, n. 6, p.895-899, dez. 2004.

UDOEYO, Felix & INYANG, Hilary & YOUNG, David & OPARADU, Edmund. (2006). Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering** - J MATER CIVIL ENG. 18. 10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:4(605).

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, [s.l.], v. 89, n. 5, p.913-933, maio 2010. Elsevier BV.

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. **Fuel**, [s.l.], v. 105, p.40-76, mar. 2013. Elsevier BV.

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, [s.l.], v. 94, p.1-33, abr. 2012. Elsevier BV.

VASSILEV, Stanislav V.; BAXTER, David; VASSILEVA, Christina G. An overview of the behaviour of biomass during combustion: Part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types. **Fuel**, [s.l.], v. 117, p.152-183, jan. 2014. Elsevier BV.

VASSILEV, Stanislav V.; VASSILEVA, Christina G.; VASSILEV, Vassil S. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. **Fuel**, [s.l.], v. 158, p.330-350, out. 2015. Elsevier BV.

VIEIRA, Ana Carla. **CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

YAMAN, Serdar. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v. 45, n. 5, p.651-671, mar. 2004. Elsevier BV.

ZAIA, F.A. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte-fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:843-852, 2004.

ZIZUMBO-VILLAREAL, D. (1996). The history of coconut (*Cocos nucifera* L., 1539–1810. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 505–515.