

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA UNIFOA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MARCOS OTÁVIO MESQUITA ALMEIDA**

**REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO PÓ DE CAFÉ PARA A PRODUÇÃO  
DE CARVÃO VEGETAL**

**VOLTA REDONDA**

**2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA UNIFOA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO PÓ DE CAFÉ PARA A PRODUÇÃO  
DE CARVÃO VEGETAL**

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental do UniFOA com requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Aluno:

Marcos Otávio Mesquita Almeida

Orientador:

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

Coorientador:

Prof. Dr. Valmir Pereira

**VOLTA REDONDA**

**2018**



Fundação Oswaldo Aranha



**Anexo 10**  
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Curso: **Engenharia Ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

**“REUTILIZAÇÃO DA BORRA DO PÓ DE CAFÉ PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL”**

Elaborado por:

Acadêmico (s)

Marcos Otávio Mesquita Almeida

Matrícula (s)

201310984

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 13 de novembro de 2018

**Banca Examinadora:**

Professor Orientador: Bruno Chaboli Gambarato, Doutor / UniFOA

Professora Avaliadora: Ana Carolina Callegario Pereira, Pós-Doutora / UniFOA

Professora Avaliadora: Izabel de Oliveira Mota, Doutora / UniFOA

Aos meus pais Raimundo e Mônica que sempre me incentivaram e me ajudaram nos meus estudos e por me ensinar a batalhar pelos meus objetivos

Agradeço aos professores Bruno e Valmir pelos ensinamentos ministrados e pela orientação no desenvolvimento deste trabalho e aos demais professores que passaram seus conhecimentos e incentivos durante todo o curso.

## RESUMO

Por a energia apresentar um papel de extrema relevância para os processos da sociedade e pelo aumento exponencial da população é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias energéticas, com isso, diminuindo a utilização dos combustíveis fósseis. A biomassa é uma alternativa viável para a modificação da matriz energética, por ser uma matéria prima com menor potencial poluidor e por ser uma fonte energética que antes, muitas vezes, seria descartada. Este trabalho utilizou a borra do pó de café como uma possível fonte energética para a geração de um carvão vegetal sustentável podendo complementar a madeira ou outros recursos energéticos fósseis. A borra do pó de café foi transformada em um carvão vegetal por meio da pirolise, realizada em forno mufla sob temperaturas de 220° a 280°C por 1h. Os materiais obtidos foram analisados quanto ao seu Poder Calorífico Superior e os resultados variaram de 15,33 MJ.kg<sup>-1</sup> a 24,25 MJ.KJ.kg<sup>-1</sup>. É possível realizar a sua utilização para contribuir com a diversificação da matriz energética, colaborando com a redução da dependência dos combustíveis fósseis.

**Palavra chave:** Energia renovável; biomassa; matriz energética; carbonização; borra de café.

## ABSTRACT

Because energy plays an extremely important role in the processes of society and the exponential increase in population, it is necessary to develop new energy technologies, thereby reducing the use of fossil fuels. Biomass is a viable alternative for the modification of the energy matrix, since it is a raw material with less polluting potential and because it is an energy source that would often be discarded. This work utilized the coffee powder sludge as a possible energy source for the generation of a sustainable charcoal that can complement wood or other fossil energy resources. The coffee powder was transformed into a charcoal by means of pyrolysis, carried out in a muffle oven at temperatures of 220 ° to 280 ° C for 1h. The obtained materials were analyzed for their High Calorific Power and the results ranged from 15.33 MJ.kg<sup>-1</sup> to 24.25 MJ.KJ.kg<sup>-1</sup>. It can be used to contribute to the diversification of the energy matrix, helping to reduce dependence on fossil fuels.

**Keyword (s):** Renewable energy; biomass; energy matrix; carbonization; coffee grounds.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista dos países mais populosos do mundo e sua densidade demográfica. ....	20
Tabela 2 – Previsão de crescimento populacional do Brasil no período entre 2018 a 2058. ....	21
Tabela 3 - Cidades mais populosas do Brasil no ano de 2018.....	22
Tabela 4 - Consumo mundial de biomassa .....	36
Tabela 5 - Composição do ar atmosférico.....	37
Tabela 6 - Classificação geral dos combustíveis.....	38
Tabela 7 - Evolução teórica da carbonização da madeira.....	43
Tabela 8 - Diminuição da proporção de alcatrão e particulados.....	48
Tabela 9 - Biomassas e biocombustíveis .....	53
Tabela 10 - Classificação dos biocombustíveis de biomassa.....	54
Tabela 11 - Potencial para a geração de energia como fonte a casca de arroz nas regiões do Brasil.....	65
Tabela 12 - Valores de análise de química imediata, resistência mecânica e poder calorífico do carvão de capim elefante. ....	67
Tabela 13 - Produção mundial de café (em milhares de sacas de 60kg).....	72
Tabela 14 - Consumo mundial de café (em milhares de sacas de 60kg).....	73
Tabela 15 - Métodos de cultivar. ....	74
Tabela 16 - Componentes químicos elementares do carvão vegetal de Coffea arábica, teores de cinzas e as relações atômicas estabelecidas.....	75
Tabela 17 – Volume de material x PCS. ....	96
Tabela 18 – Comparação dos resultados com dados da literatura. ....	97

## Lista de Figuras

Figura 1 - Principais elementos da crise ambiental. ....	18
Figura 2 - Classificação dos recursos naturais.....	23
Figura 3 - Rotas tecnológicas de conversão de energia da biomassa. ....	35
Figura 4 - Principais produtos obtidos a partir da carbonização da madeira. ....	40
Figura 5 - Visão esquemática do processo de carbonização e da distribuição dos produtos, (temperatura final da concentração 350°C).....	41
Figura 6 - Subdivisão dos gaseificadores de acordo coma a direção relacionada à movimentação do gás e da biomassa. a) Gaseificadores de leito fixo, b) Gaseificadores de leito fluidizado.....	46
Figura 7 - Aplicações da gaseificação da biomassa devido ao poder calorífico do biogás.....	47
Figura 8 - Parcela de alteração da proporção de alcatrão e particulado no gás alcançado em diversos métodos de gaseificadores. ....	47
Figura 9 - Processo de conversão termoquímica e bioquímica.....	49
Figura 10 - Conversão físico-química da biomassa. ....	51
Figura 11 - Esquema da utilização da biomassa florestal. ....	55
Figura 12 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura). ....	57
Figura 13 – Classificação dos resíduos da madeira.....	59
Figura 14 - Produção total e exportação de energia das indústrias de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.....	61
Figura 15 - Processo sucroenergético.....	63
Figura 16 - Geração de eletricidade através da casca de arroz. ....	64
Figura 17 - Potencial de geração de energia elétrica a partir da casca de arroz.....	66
Figura 18 - Fases da produção de biogás.....	70
Figura 19 - Produção e consumo mundial de café.....	71
Figura 20 - Planta geradora de potência simples a vapor. ....	76
Figura 21 - Diagrama p-v para um ciclo de potência de Carnot realizado por um gás. ....	77
Figura 22 - Ciclo de potência de Carnot executado por um gás em um conjunto cilindro-pistão.....	78

Figura 23 - Ciclo de potência a vapor de Carnot. ....	78
Figura 24 - Sistema gaseificador acoplado a motor Stirling. ....	81
Figura 25 - Funcionamento de uma turbina a gás. ....	82
Figura 26 - Esquema de funcionamento de uma usina termelétrica. ....	83
Figura 27 - Usinas termelétricas a biomassa em operação e potência instalada por estado, em setembro de 2003. ....	85
Figura 28 - Fluxograma do desenvolvimento deste trabalho. ....	89
Figura 29 - Forno tipo mufla. ....	90
Figura 30 - Bomba calorimétrica IKA modelo C200. ....	91
Figura 31 - Amostra A220. ....	92
Figura 32 - Amostra 240. ....	93
Figura 33 - Amostra A260. ....	93
Figura 34 - Amostra A280. ....	94

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Matriz energética mundial no ano de 2014, (306 milhões de toneladas correspondentes de petróleo).....	26
Gráfico 2 – O avanço da consumação mundial de energia no período entre 1850 a 2000. ....	27
Gráfico 3 – Estimativa do consumo total de energia elétrica até 2050.....	28
Gráfico 4 - Utilização de energia elétrica no Brasil dividido em áreas.....	29
Gráfico 5 - Oferta de energia no Brasil (2014).....	29
Gráfico 6 - Oferta de energia elétrica (2014).....	30
Gráfico 7 - Oferta de energia elétrica (2023).....	31
Gráfico 8 - Participação percentual dos tipos de centrais energéticas e sua capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil (outubro de 2003). ....	32
Gráfico 9 - Complementos da bioeletricidade.....	33
Gráfico 10 - Consumo de biomassa florestal entre 1970 a 2008.....	56
Gráfico 11 - Histórico do consumo de lenha no Brasil.....	58
Gráfico 12 - Número de Usinas Signatárias que produzem e exportam energia e a sua potência instalada no Estado de São Paulo. ....	61
Gráfico 14 – Tempo de aquecimento ate valores máximos nas 4 temperaturas.....	95
Gráfico 15 - Variação da temperatura durante 1h. ....	95

## **Lista de Siglas**

PCS – Poder Calorífico Superior

PCI - Poder calorífico Inferior

GEE – Gases do Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café

CECAFE - Conselho Dos Exportadores De Café Do Brasil

OIC – Organização Internacional do Café

FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Justificativa .....	16
1.2 Problema.....	16
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Crise Ambiental.....	18
3.1.1 População .....	19
3.1.2 Recursos naturais .....	22
3.1.3 Poluição.....	24
3.2 Matriz energética Mundial .....	25
3.2.1 Matriz energética Brasileira .....	29
3.3 Biomassa .....	33
3.3.1 Materiais empregados para o processo combustão .....	36
3.3.2 Poder calorífico .....	39
3.4 Conversão Termoquímica da Biomassa .....	39
3.4.1 Carbonização .....	39
3.4.2 Combustão direta .....	44
3.4.3 Gaseificação .....	44
3.5 Conversão Bioquímica .....	49
3.5.1 Digestão Anaeróbica.....	49
3.5.2 Fermentação.....	50
3.6 Conversão Físico-química .....	50
3.6.1 Transesterificação .....	51

3.6.2 Esterificação.....	52
3.7 Principais Biomassas Utilizadas no Brasil.....	52
3.7.1 Biomassas florestais.....	54
3.7.2 Biomassas não florestais (agrocombustíveis) .....	60
3.7.3 Biomassas a partir de resíduos urbanos e industriais .....	69
3.7.4 Café.....	70
3.8 Produção de Energia Elétrica a partir da Biomassa.....	75
3.8.1 Ciclos térmicos a vapor .....	75
3.8.2 Sistema gaseificador .....	79
3.8.3 Termelétricas.....	83
3.8.4 Geração de energia elétrica em pequena escala .....	85
3.8.5 Biorrefinaria .....	87
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>88</b>
4.1 Classificação da Pesquisa.....	88
4.2 Materiais.....	88
4.3. Métodos.....	88
4.4 Tratamento térmico.....	90
4.5 Determinação de PCS .....	90
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>92</b>
5.1 Tratamento Térmico.....	92
5.2 Condições de Aquecimento .....	94
5.3 PCS.....	96
<b>6.CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme a segunda lei da termodinâmica, a transformação e a utilização da energia acarreta na degradação da sua qualidade. Como consequência da primeira lei da termodinâmica (lei da conservação da energia) os resíduos energéticos principalmente na forma de calor, somados aos resíduos de matéria consequência da lei de Lavoisier, alteram as características do meio ambiente. Com isso, a tendência natural de qualquer processo, como um todo, é a de aumento de sua entropia (grau de desordem). Assim, a população utilizando-se dos recursos naturais (de matéria e energia) irá gerar inevitavelmente algum tipo de poluição. É necessário haver um equilíbrio entre: recursos naturais, população e poluição, resultando em um nível ideal de qualidade de vida no planeta terra (BRAGA *et al*, 2005).

O grande aumento da atividade industrial tornou-se possível devido a crescente distribuição de energia empregada sob diversas formas, obtida através dos recursos naturais (HILSDORF *et al*, 2004). A energia possui uma importância essencial para a sociedade, ela é primordial para a criação de bens e diversos serviços, com isso, a população mundial se tornou muito interdependente desse recurso (HINRICHS *et al*, 2010). Nos últimos 50 anos a demanda global por energia triplicou, e pode triplicar novamente nos próximos 30 anos. A maior parte dessa demanda ocorreu nos países industrializados, e 90% dessa energia gerada tem origem nos combustíveis fósseis. Estima-se que no decorrer dos anos haja um crescimento expressivo na demanda energética dos países subdesenvolvidos, pelo fato deles buscarem atingir metas e objetivos de crescimento (HINRICHS *et al*, 2010).

O crescente consumo da matéria prima de origem fóssil a partir do início da era industrial causou um aumento no acúmulo de dióxido de carbono atmosférico em torno de 30% e, provavelmente, a elevação da temperatura global, o que pode acarretar em diversos danos ao planeta (HINRICHS *et al*, 2010). Como decorrência desses problemas a biomassa pode se apresentar como uma boa opção para realizar a complementação e diversificação da matriz energética diminuindo-se assim o consumo direto dos recursos energéticos de origem fóssil, e conseqüentemente seus aspectos ambientais. A energia presente na biomassa é oriunda de matéria viva como as árvores, os grãos e plantas terrestres e aquáticas; ela também pode ser encontrada nos resíduos municipais, agrícolas, e florestais. Pode ser empregada como

combustível energético nas formas sólidas, líquidas e gasosas. Dessa forma, com a utilização de biomassa vegetal, principalmente de resíduos e subprodutos, na conversão em energia, é possível devolver a matéria orgânica ao ciclo do carbono, conter os lançamentos de gases do efeito estufa (GEE) e aumentar o valor agregado a esses materiais (LEITE *et al*, 2015).

### **1.1 Justificativa**

Pelo fato da atual crise energética ser um problema global e podendo se agravar ainda mais com o aumento exponencial da população, a busca e o desenvolvimento por novas tecnologias para maior diversificação da matriz energética e seus aspectos ambientais se fazem cada vez mais necessárias. Com isso, é possível realizar o reaproveitamento de um resíduo que seria descartado, inserí-lo na matriz energética, auxiliando na redução do consumo dos combustíveis fósseis.

### **1.2 Problema**

Existe viabilidade técnica na conversão termoquímica da borra do pó de café a partir da experimentação em escala laboratorial?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a conversão termoquímica da borra do pó de café em carvão vegetal para contribuir com a diversificação da matriz energética.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a conversão da borra do pó de café em carvão sob diferentes temperaturas;
- Avaliar o poder calorífico superior (PCS) dos materiais obtidos nas diversas condições;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Crise Ambiental

Um ecossistema possui uma determinada quantidade de indivíduos de cada espécie, e é capaz de manter e procriar uma quantidade limitada de indivíduos. Caso haja um aumento exponencial de uma determinada espécie, interferindo no equilíbrio natural do sistema, se inicia uma crise ambiental (FOLADORI, 1999).

Para se viver em um ambiente com uma boa qualidade de vida é necessário o equilíbrio entre os três pilares: população, recursos naturais e poluição, como exemplificadas na Figura 1. Assim para realizar determinada atividade é necessária a análise dos possíveis riscos envolvidos nas questões ambientais, econômicas e sociais. A medida de proteção ambiental é realizada de acordo com os valores sociais em relação à prioridade de proteger o meio ambiente. O princípio do equilíbrio é definido como as ações tomadas pelo homem em relação à exploração do meio ambiente propõe soluções que conciliem um melhor resultado global positivo em relação ao desenvolvimento tecnológico e social, protegendo o meio ambiente (ANTUNES, 2006).

Figura 1 - Principais elementos da crise ambiental.



Fonte: Braga, 2005.

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como um método eficiente de atender as gerações presentes e de modo que não prejudique as futuras gerações (GOLDEMBERG, 2014).

### 3.1.1 População

Para realizar a estimativa do tempo de extensão dos recursos energéticos é necessário valores da taxa de crescimento do consumo. Encontra-se na literatura vários tipos de crescimento, tal como o crescimento exponencial da população. (HINRICHS, 2010).

Segundo Braga (2005), a terra pode ser comparada a uma astronave, possui recursos naturais suficientes para atender a tripulação, porém no decorrer dos anos sofre um aumento exponencial desse número de passageiros, sem haver pontos de parada para a espaçonave recarregar, a população irá sofrer sérios problemas para sua sobrevivência. Usando a mesma analogia, é como se a população dos países desenvolvidos fossem os passageiros de primeira classe e as populações dos países subdesenvolvidos viajassem no porão.

Com tudo, diante desse crescimento exponencial da população nos remete ao um questionamento: até quando os recursos naturais irão suprir as nossas necessidades? (BRAGA *et al*, 2005).

A Tabela 1 descreve a densidade demográfica dos países mais populosos do mundo no ano de 2015.

Tabela 1 – Lista dos países mais populosos do mundo e sua densidade demográfica.

País	População Total	Área Total (km <sup>2</sup> )	Densidade (habitante/km <sup>2</sup> )
Bangladesh	160.995.642	148.460	1.084
Índia	1.311.050.527	3.287.260	399
Paquistão	188.924.874	796.100	237
Nigéria	182.201.962	923.770	197
China	1.376.048.943	9.600.001	143
Indonésia	257.563.815	1.910.930	135
México	127.017.224	1.964.380	65
Estados Unidos	321.773.631	9.831.510	33
Brasil	207.847.528	8.515.770	24
Rússia	143.456.918	17.098.240	8

Fonte: IBGE, 2015.

Estima-se que atualmente o Brasil possui cerca de 208,5 milhões de habitantes com uma proporção de um crescimento da população em 0,82% no período entre 2017 e 2018. A Tabela 2 indica as estimativas de crescimento populacional do Brasil até o ano de 2018 (IBGE, 2018).

Tabela 2 – Previsão de crescimento populacional do Brasil no período entre 2018 a 2058.

Ano	População			Nascimentos	Óbitos
	Total	Homens	Mulheres		
2018	208.494.900	101.971.173	106.523.727	3.003.585	1.349.693
2022	214.828.540	104.990.487	109.838.053	2.913.688	1.433.605
2026	220.316.530	107.589.495	112.727.035	2.797.674	1.539.159
2030	224.868.462	109.728.762	115.139.700	2.683.440	1.666.427
2034	228.437.122	111.386.062	117.051.060	2.579.544	1.812.136
2038	231.007.871	112.557.327	118.450.544	2.493.021	1.975.283
2042	232.588.580	113.251.454	119.337.126	2.422.219	2.147.419
2046	233.220.257	113.493.052	119.727.205	2.363.150	2.321.466
2050	232.933.276	113.300.060	119.633.216	2.304.717	2.490.559
2054	231.739.632	112.678.873	119.060.759	2.237.804	2.648.830
2058	229.652.286	111.634.119	118.018.167	2.161.015	2.791.329

Fonte: IBGE, 2018.

São Paulo é a cidade Brasileira com o maior número populacional do país aproximadamente 12,2 milhões de habitantes, na segunda colocação está o Rio de Janeiro com 6,7 milhões de habitantes. A Tabela 3 detalha as cidades mais populosas do país. São Paulo é o estado mais populoso do país, cerca de 45,5 milhões de habitante, 21,8% dos habitantes do país, os outros dois estados mais populosos do país se encontram também na região Sudeste (IBGE, 2018).

Tabela 3 - Cidades mais populosas do Brasil no ano de 2018.

Cidade	UF	População 2018
São Paulo	SP	12.176.866
Rio de Janeiro	RJ	6.688.927
Brasília	DF	2.974.703
Salvador	BA	2.857.329
Fortaleza	CE	2.643.247
Belo Horizonte	MG	2.501.576
Manaus	AM	2.145.444
Curitiba	PR	1.917.185
Recife	PE	1.637.834
Goiânia	GO	1.495.705

Fonte: IBGE, 2018.

### 3.1.2 Recursos naturais

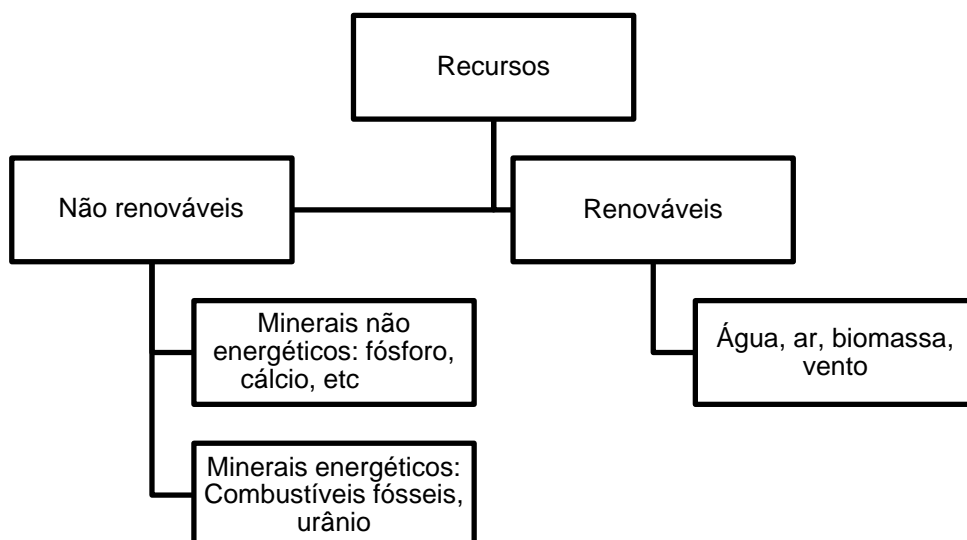
Recurso natural pode ser definido como qualquer material que os organismos, as populações e os ecossistemas necessitam utilizar para sua perpetuação (BRAGA *et al*, 2005). Há uma relação direta entre os recursos naturais, tecnologia, economia e meio ambiente. A relação entre os recursos naturais e a tecnologia se dá por haver a necessidade do desenvolvimento da tecnologia para a transformação e utilização de determinado recurso natural, já a relação entre recursos naturais e economia se dá devido a sua exploração ter necessariamente que ser economicamente viável. O álcool, antes da crise do petróleo em 1973 apresentava um custo de exploração mais elevado que o petróleo, desde então tecnologias para aperfeiçoar sua eficiência e diminuir custos foram desenvolvidas. Nos últimos anos no Brasil o álcool e apresentou como um importante combustível, contribuindo com uma grande parcela da matriz energética.

A matéria prima deve ser utilizada apenas para atender as necessidades essenciais da população, realizando um consumo consciente (BRAGA *et al*, 2005). Porém nas últimas décadas a intensa exploração do meio ambiente sem uma consideração prévia das questões ambientais resultou em danos praticamente irreversíveis ao planeta. A utilização de determinado material nocivo ao meio ambiente, como o mercúrio e o chumbo, podem provocar a morte dos seres humanos e demais seres vivos do planeta (BRAGA *et al*, 2005).

Os recursos naturais se dividem em: recursos naturais não renováveis e recursos naturais renováveis. Quando a taxa de utilização de determinado recurso natural é menor que a sua taxa de formação na natureza, é classificado como recurso renovável, ou seja, devido a ciclos naturais o recurso se renova em quantidade e tempo suficiente para o uso. De forma oposta, quando a taxa de utilização de determinado recurso natural é maior que a sua taxa de formação na natureza, é classificado como recurso não renovável, ou seja, não há tempo suficiente para que os ciclos naturais os renovem para o uso (BRAGA *et al*, 2005).

Os recursos não renováveis são subdivididos em dois grupos: os minerais energéticos, como os combustíveis fósseis e o urânio e os minerais não energéticos, como o fósforo, cálcio, entre outros, demonstrado na Figura 2 (BRAGA *et al*, 2005).

Figura 2 - Classificação dos recursos naturais



### 3.1.3 Poluição

É definida como qualquer alteração das características químicas, físicas ou biológicas do meio ambiente, ocasionadas por matéria ou energia que tenha sido consequência de alguma atividade antrópica. Essas mudanças afetam ou podem afetar à qualidade, à saúde ou à sobrevivência de algumas espécies ou dos seres humanos. Alterações no meio ambiente causado por fenômenos naturais, tais como terremotos ou vulcões, ainda que possa modificar as características naturais não são consideradas poluição (BRAGA *et al*, 2005). Podemos dizer então que impacto ambiental é causado apenas pelas ações que os seres humanos realizam e que produzam alguma interferência nas características do meio ambiente. Sendo assim, os impactos podem causar diversos danos negativos para a população, podendo afetar a saúde, a segurança e a qualidade de vida interferindo nas atividades, tanto de lazer quanto econômica, prejudicando as condições do meio ambiente e interferindo na qualidade e quantidade dos recursos naturais, indispensáveis para nossa sobrevivência (ANTUNES, 2006).

Determinadas atividades exercidas pelo homem geram os poluentes, resíduos que podem causar impactos negativos no meio ambiente. Os poluentes estão conectados à quantidade ou à concentração dos resíduos que estão presentes na água, no solo ou no ar. Os poluentes são inseridos na biota por meio de fontes poluidoras, que podem ser classificadas em dois grupos, difusas ou dispersas e pontuais ou localizadas. As fontes pontuais ou localizadas são assim intituladas por serem fontes fáceis de ser identificadas, como o lançamento de esgoto doméstico ou industrial em um rio, que por possuir uma origem identificável, pode ter controle mais eficaz. Já as fontes difusas ou dispersas são fontes de difícil identificação, por não possuir um ponto de lançamento específico, com isso se torna uma fonte de difícil identificação e controle (BRAGA *et al*, 2005). Assim, a borra de pó de café, que é gerada diariamente, tanto nos lares quanto nos estabelecimentos comerciais e industriais, acaba por ser difícil de mensurar a quantidade de geração e também a sua forma de descarte, podendo então ser considerada como uma fonte difusa ou dispersa.

Na década passada os americanos eram os maiores geradores de resíduos do mundo, geravam aproximadamente  $2,4 \text{ kg.dia}^{-1}$  por pessoa, ou seja, mais de três

toneladas ao ano por família, que era o dobro da média da Europa (HINRICHS *et al*, 2010).

### **3.2 Matriz energética Mundial**

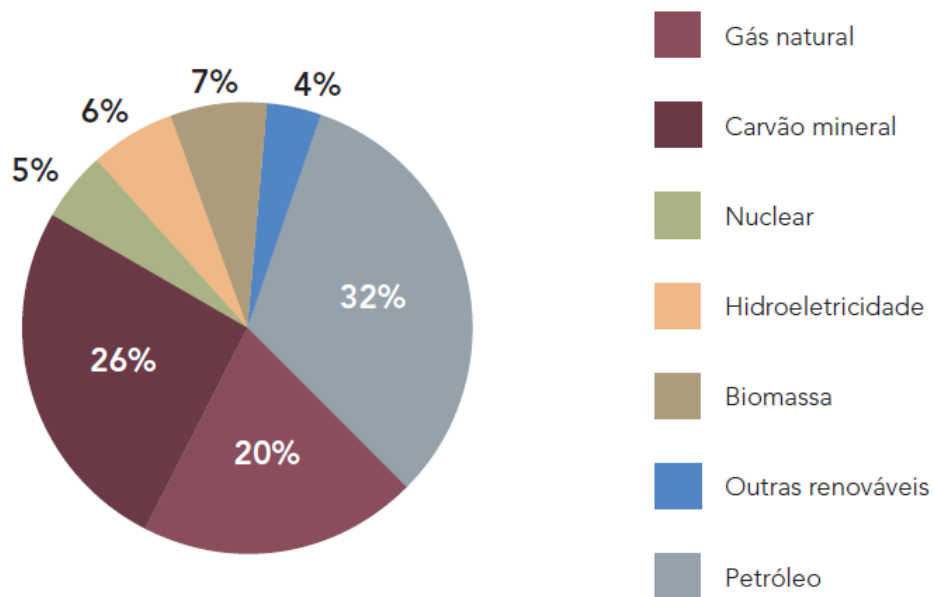
Grandes alterações na aplicação da energia tiveram início nas primeiras explorações da ciência a partir da Idade Média. A evolução de áreas, como matemática, geometria e engenharia, desenvolveram mecanismos de transformações das fontes energéticas (FARIAS, 2011).

A utilização dos ventos para a navegação se iniciou há milhares de anos pelos egípcios, fenícios e romanos. Há registros na China e na Pérsia de moinhos de ventos empregues com o intuito de moer grãos e realizar o bombeamento da água. A primeira máquina a vapor foi construída por volta dos anos de 1698. Com a revolução industrial teve início a era dos combustíveis de origem fóssil, o carvão mineral foi o primeiro combustível a ser empregue em grande escala, com isso a lenha foi substituída no sistema de combustão direta na geração de vapor empregues em máquinas térmicas. A partir do ano de 1961 o carvão mineral foi substituído pelo petróleo como principal fonte energética.

Com a contínua crise do petróleo e a decorrente variação do preço do barril obrigou os países e agências internacionais desenvolverem uma série de ações com o objetivo de diversificar a matriz energética (FARIAS, 2011).

No Gráfico 1 estão classificadas as matrizes energéticas mundiais mais utilizadas nos últimos anos, um destaque para os combustíveis de origem fósseis tal como: o petróleo, carvão mineral e o gás natural que representam 80% do consumo mundial (GOLDEMBERG, 2014).

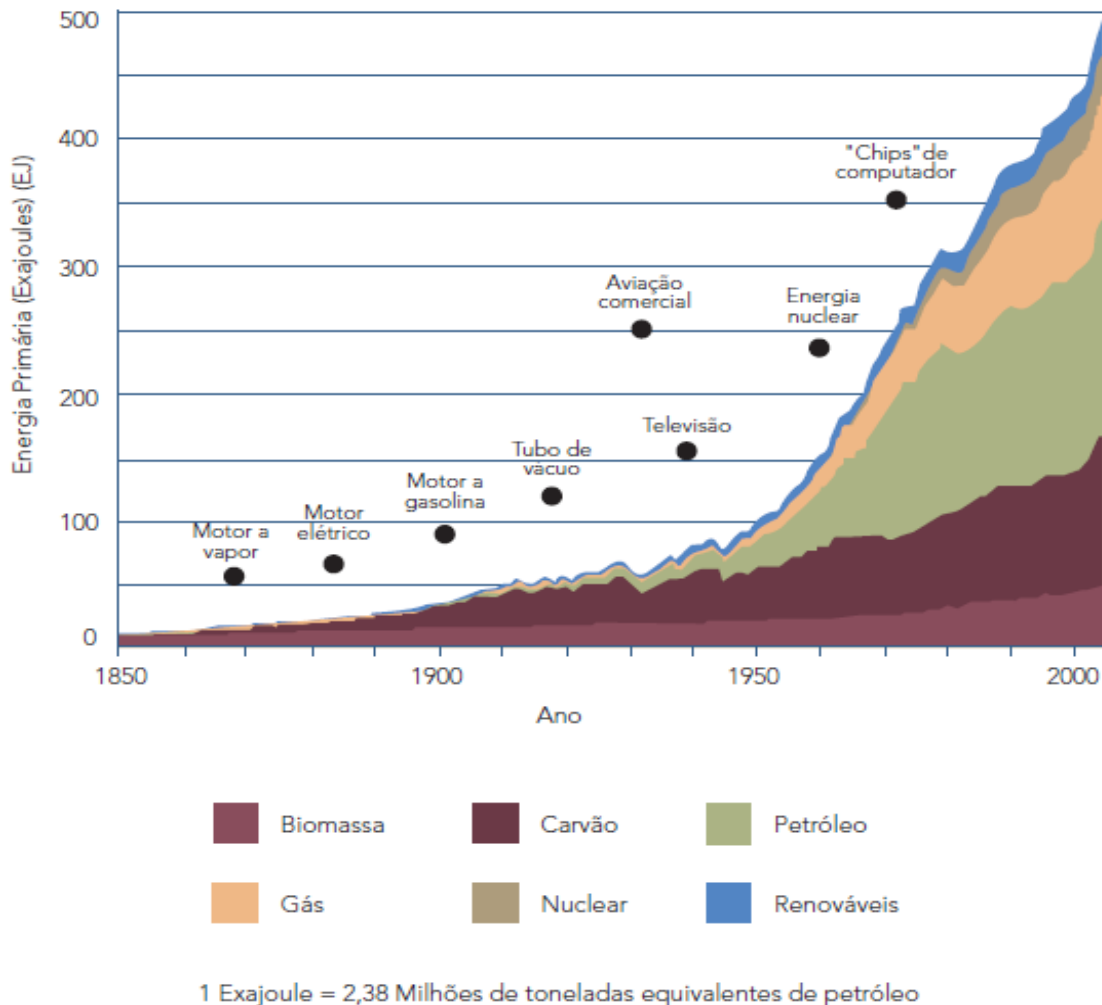
Gráfico 1 – Matriz energética mundial no ano de 2014, (306 milhões de toneladas correspondentes de petróleo).



Fonte: GOLDEMBERG, 2014.

Esse consumo atual é resultado do grande desenvolvimento no século XX, o desenvolvimento tecnológico, como das indústrias, automóveis, aviões, entre outros, mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – O avanço da consumação mundial de energia no período entre 1850 a 2000.



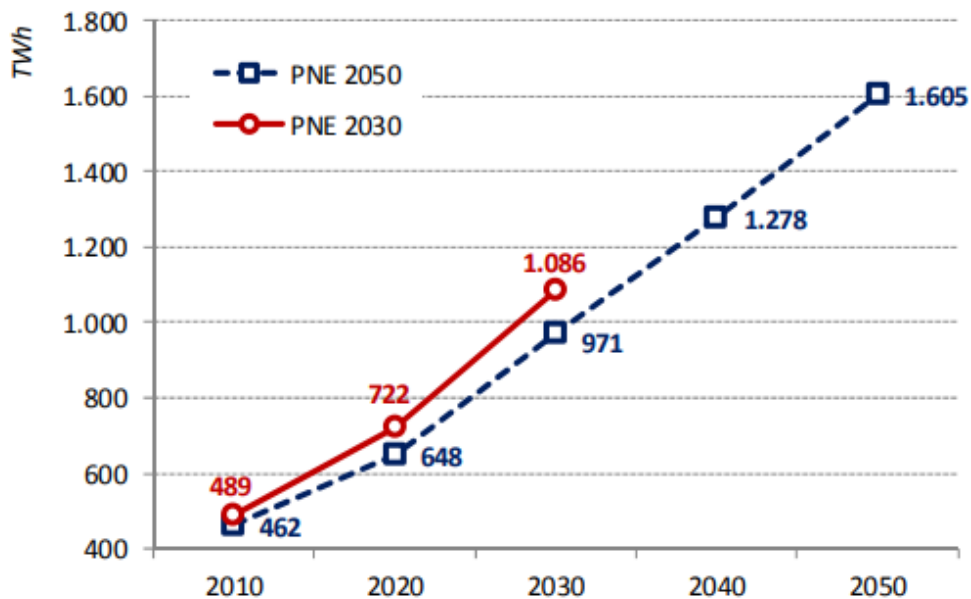
Fonte: GOLDEMBERG, 2014.

O alto consumo de combustíveis fósseis acarreta em problemas graves, como um possível esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, estimativas apontam que o esgotamento do petróleo aconteça daqui a cerca de 41 anos, previsões de 63 anos para o gás natural e 134 anos para o carvão mineral. A segurança para utilização dos combustíveis fósseis, por estarem distribuídos de uma forma desigual no planeta, desfavorecendo alguns países, com isso gerando diversos conflitos geopolíticos na utilização das reservas naturais. Diminuição das condições ideais de saúde e degradação ambiental, o CO<sub>2</sub> como principal poluente decorrente da queima dos combustíveis fósseis, gera danos de nível local como a poluição atmosférica, a nível regional como a chuva ácida e a nível mundial como o aquecimento global (GOLDEMBERG, 2014);

Uma possível solução para esses problemas seria a diversificação da matriz energética, incluindo as fontes energéticas renováveis. A maior parte das fontes energéticas renováveis como a energia eólica, energia solar e a biomassa, são originárias da radiação solar que não irá acabar e não poluir o meio ambiente. A radiação solar está compartilhada sobre o planeta de um modo mais imparcial que as fontes energéticas de origem fósseis (GOLDEMBERG, 2014).

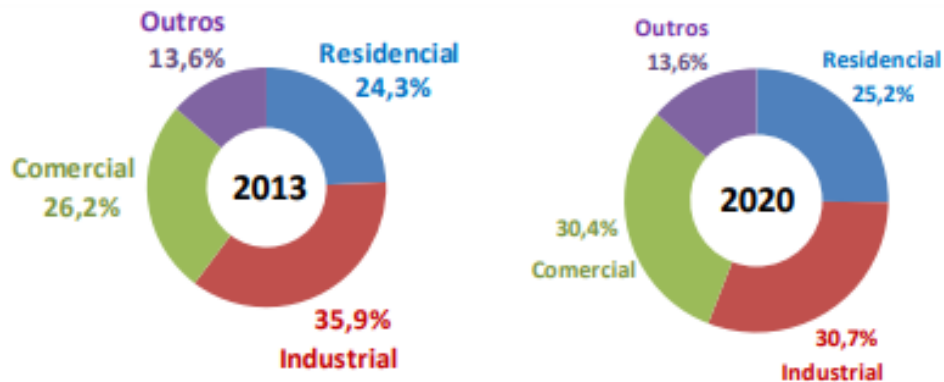
A maior parte do consumo de energia ocorre nos países desenvolvidos, que consomem em torno de 4 a 5 vezes mais que os países em desenvolvimento. O Gráfico 3 descreve as previsões da utilização de energia elétrica no Brasil até 2050. O Gráfico 4 retrata as estimativas de consumo de energia elétrica brasileira detalhada por setor até 2020 (GOLDEMBERG, 2014).

Gráfico 3 – Estimativa do consumo total de energia elétrica até 2050.



Fonte: EPE, 2016.

Gráfico 4 - Utilização de energia elétrica no Brasil dividido em áreas.



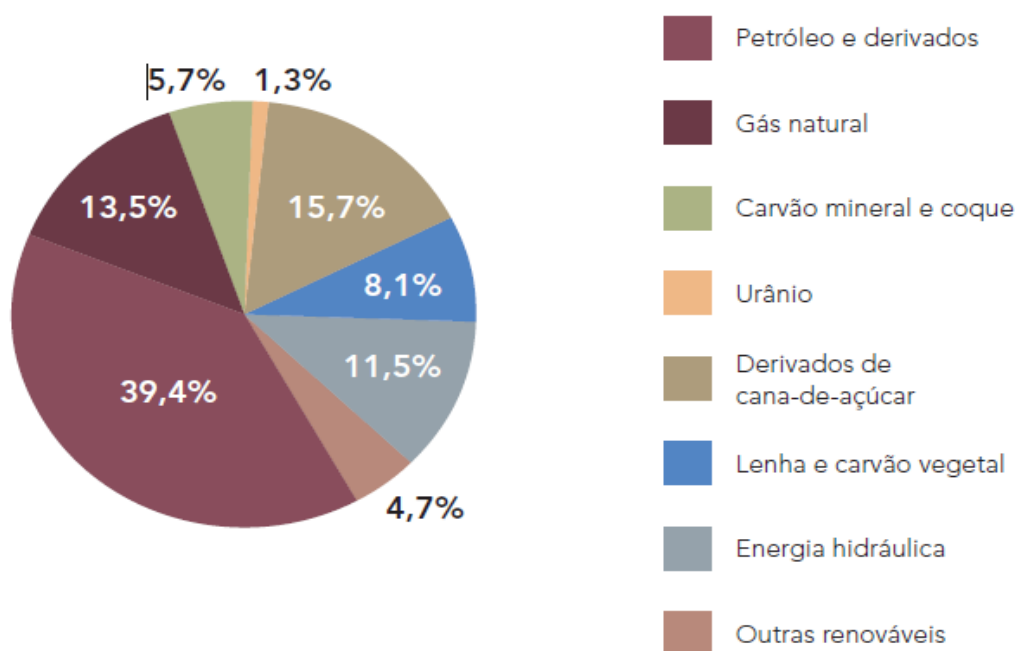
Fonte: EPE, 2016.

### 3.2.1 Matriz energética Brasileira

A crise energética pode ser determinada como uma menor oferta de eletricidade em relação à demanda. Devido da ocorrência de blecautes no Brasil no passado, várias medidas paliativas foram tomadas (GENTIL, 2011).

Nos últimos anos a matriz energética brasileira se tornou bastante diversificada, comparada com a matriz energética mundial, apresenta uma parcela considerável de energias renováveis, detalhada no Gráfico 5 (GOLDEMBERG, 2014).

Gráfico 5 - Oferta de energia no Brasil (2014)

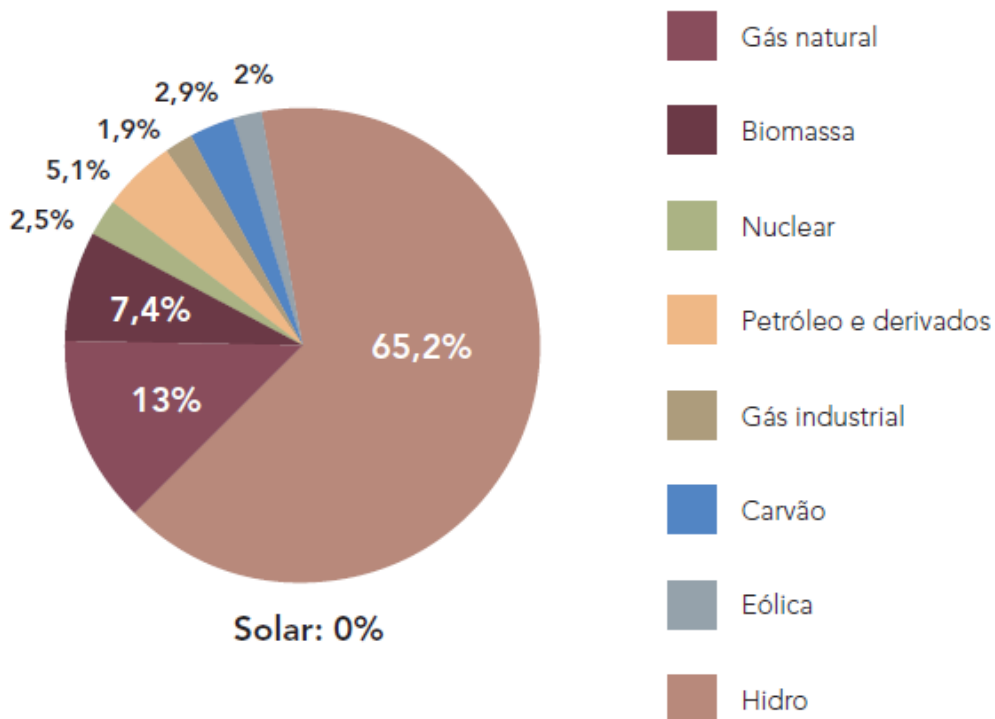


Fonte: GOLDEMBERG, 2014.

Na matriz energética brasileira se destaca a produção de energias renováveis com 41% da produção total de energia no país. A energia hidráulica representa 12,5%, energia a partir da lenha e o carvão vegetal representam 8,3%, energia derivada de cana de açúcar com 16,1% e energia a partir de outras fontes renováveis, dentre elas a energia solar e a eólica com 4,2%.

Na geração de eletricidade o cenário é ainda mais promissor, como mostrado no Gráfico 6. As energias renováveis representam 82,1% da demanda, fontes renováveis como, hidroeletricidade, biomassa e energia eólica (GOLDEMBERG, 2014).

Gráfico 6 - Oferta de energia elétrica (2014)

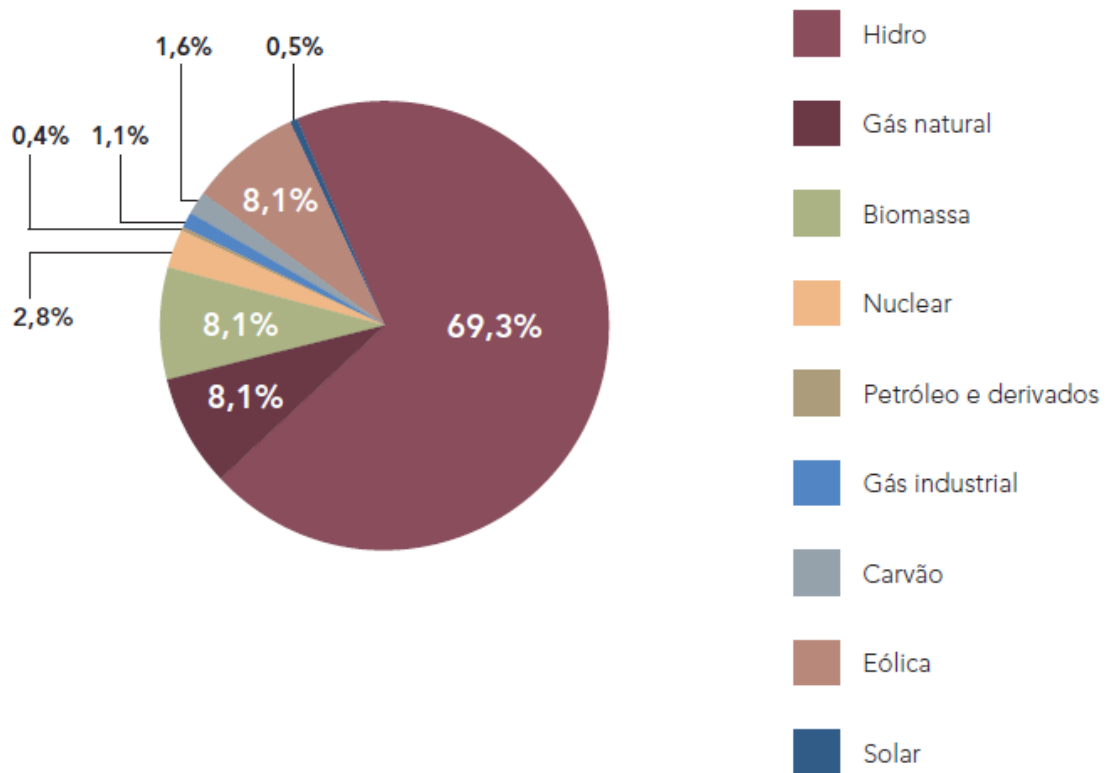


Fonte: GOLDEMBERG, 2014.

A participação da energia hidrelétrica na matriz energética vem sofrendo uma queda nos últimos anos. No ano de 2013 apresentou valores de 68,9%, e estimativas apontam uma provável queda de 59,6% até o ano de 2023, demonstrado no Gráfico 7. A energia elétrica originária do petróleo poderá sofrer uma queda de 17,1% em 2013 para 14,5% em 2023, levando o Brasil a depender cada vez menos dos combustíveis

fósseis para geração de energia elétrica. Porém poderá haver um aumento do consumo de energia elétrica em 24% (GOLDEMBERG, 2014.).

Gráfico 7 - Oferta de energia elétrica (2023)



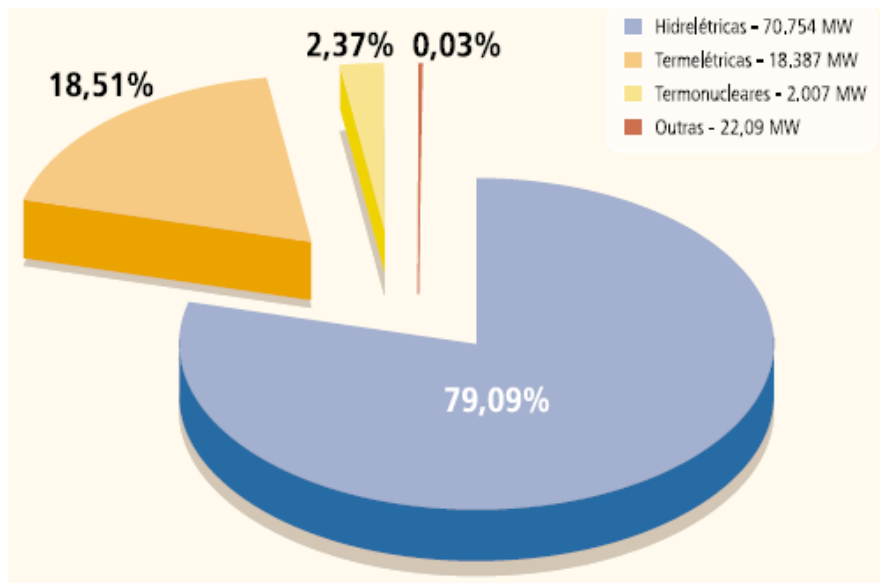
Fonte: GOLDEMBERG, 2014.

A geração de energia elétrica a partir das usinas hidrelétricas é predominante desde o século passado, o 3º maior potencial hídrico do mundo está localizado no Brasil, com capacidade para produzir quase 250 GW, porém, vem sofrendo uma queda desde o ano de 2011. Um dos principais motivos é o esgotamento dos reservatórios disponíveis no Sudeste, onde está localizada a maior parte das usinas hidrelétricas com grandes reservatórios (GOLDEMBERG, 2015).

Uma medida paliativa tomada pelo governo nos últimos anos foi à implantação das termelétricas para compor a matriz energética, com o intuito de realizar a queima de alguns materiais, como a biomassa, o carvão, os derivados do petróleo, entre outros (GENTIL, 2011). Com isso, não houve uma falta generalizada de energia elétrica nos últimos anos, devido à geração de energia térmica, através da biomassa e energia nuclear, com uma produção aproximadamente de 29,5% em 2013

(GOLDEMBERG, 2015). O Gráfico 8 aponta o percentual dos principais modelos de centrais energéticas no Brasil e a sua capacidade de produção (MW).

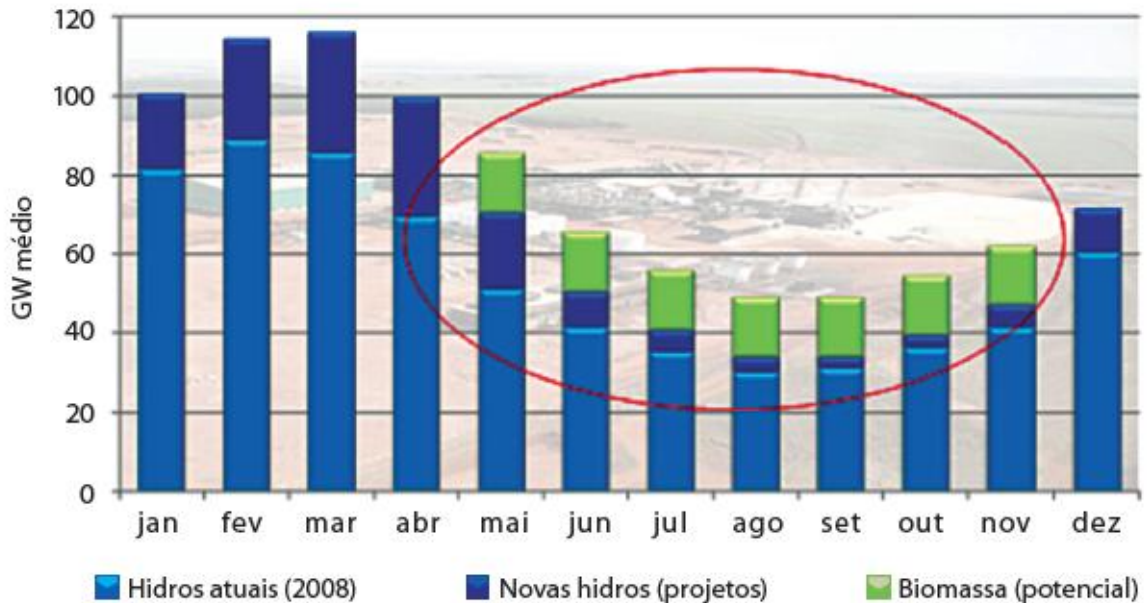
Gráfico 8 - Participação percentual dos tipos de centrais energéticas e sua capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil (outubro de 2003).



Fonte: ANEEL, 2005.

O bagaço de cana de açúcar foi utilizado nos últimos anos como principal fonte de biomassa para a produção de energia elétrica, é disponível nos meses em que há um menor volume de chuva e os reservatórios estão mais baixos, mostrando como uma eficiente complementação da geração de energia elétrica, mostrado no Gráfico 9 (GOLDEMBERG, 2015).

Gráfico 9 - Complementos da bioeletricidade.



Fonte: GOLDEMBERG, 2015.

Nos próximos anos as biomassas poderão encontrar um maior mercado como substitutos da lenha nas áreas industriais e agropecuária. Essa troca de matéria prima poderá ocorrer devido ao esgotamento da lenha do desmatamento, disseminação da produção e redução dos custos das biomassas (EPE, 2016).

Com tudo, nos últimos anos no Brasil os derivados do petróleo assim como a gasolina, óleo diesel, entre outros, sofreram um aumento do preço significativo. Em média o preço da gasolina no Brasil está perto de U\$ 1,5 por litro de gasolina, ainda que o Brasil seja um grande produtor de petróleo, comparado com os demais países do mundo, o preço da gasolina brasileira é um dos mais altos. Países vizinhos do Brasil, assim como a Bolívia que importam petróleo do Brasil, vendem o litro de gasolina por um preço bem abaixo, em torno de U\$ 0,9 (GENTIL, 2011).

### 3.3 Biomassa

A biomassa pode ser descrita como fonte energética orgânica utilizada com o intuito de gerar energia, por meio do processo de fotossíntese (FARIAS, 2011). No processo de fotossíntese as plantas combinam a água proveniente do solo, o CO<sub>2</sub> presente na atmosférica e a energia luminosa para gerar a glicose, como os açúcares e amidos, exemplificados na reação (1):



Esse processo ocorre nas folhas e raízes dos vegetais. Nas plantas verdes, o processo de fotossíntese ocorre durante o dia, e a respiração durante a noite, ocasionando a alterações diárias na concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico (HINRICHS *et al*, 2010).

Nesse processo, ocorre uma variação da concentração de dióxido de carbono em cada estação do ano, mais alta no início da primavera e mais baixa no período de outono, devido ao fim da etapa de crescimento das plantas (HINRICHS *et al*, 2010).

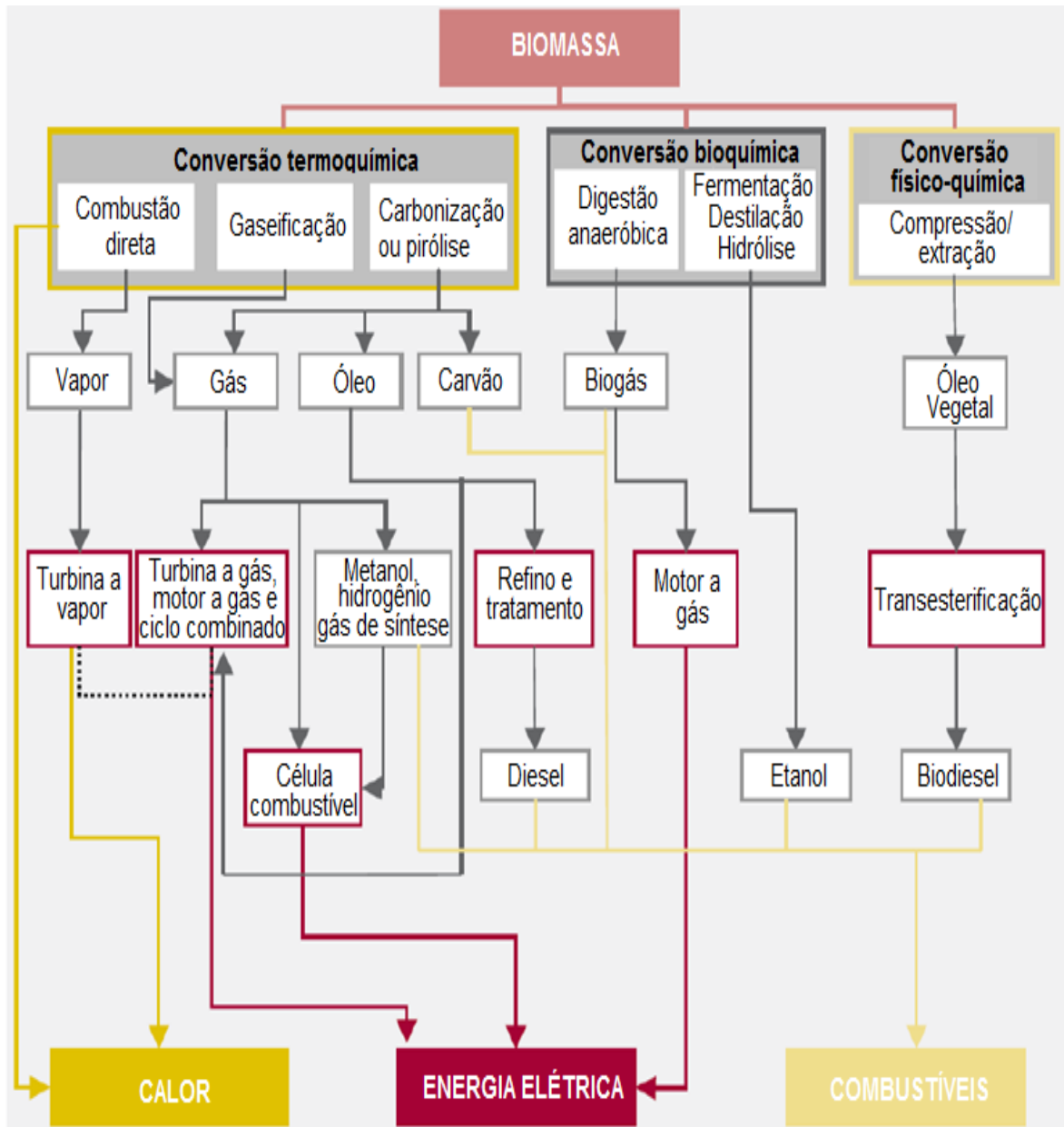
Na questão energética, a fotossíntese pode ser descrita como um método de armazenagem da energia solar na superfície (MOURAD, S.D.).

Estima-se que a quantidade presente de biomassa no planeta esteja em torno de dois trilhões de toneladas. Em valores energéticos esse valor corresponde 3.000 EJ por ano (ANEEL, 2005).

Dentre as vantagens da utilização da biomassa se destaca o seu aproveitamento, por ser possível serem empregues diretamente através de processos de combustão. Nos últimos anos foram desenvolvidas diversas tecnologias com o intuito de aumentar sua eficiência e aperfeiçoar as tecnologias de conversão de biomassa (ANEEL, 2005).

Os processos de conversão de energia a partir da biomassa são classificados em: conversão bioquímica, conversão termoquímica e conversão físico-química. A Figura 3 aponta as formas de conversão de biomassa em energia (HINRICHS *et al*, 2010).

Figura 3 - Rotas tecnológicas de conversão de energia da biomassa.



Fonte: CARDOSO, 2012.

A biomassa representa aproximadamente 14% do consumo mundial de energia primária, em alguns países em desenvolvimento esse valor alcança 34%, chegando a 60% na África. A Tabela 4 aponta os locais com o maior consumo de biomassa no mundo (ANEEL, 2005).

Tabela 4 - Consumo mundial de biomassa

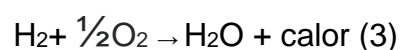
País/Região	Biomassa	Outros	Total	%
Mundial	930	5.713	6.643	14
China	206	649	855	24
Leste Asiático	106	316	422	25
Sul da Ásia	235	188	423	56
América Latina	73	342	415	18
África	205	136	341	60
Países em desenvolvimento	825	1.632	2.457	34
Países da OCDE	81	3.044	3.125	3

Fonte: ANEEL, 2005.

Quase todo o território Brasileiro está localizado em região tropical e chuvosa, isso oferece ótimas condições para a produção e a utilização energética da biomassa em grande escala. A biomassa apresenta grande potencial para a produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outras funções comerciais e além de um grande potencial para a produção de energia elétrica (ANEEL, 2005).

### 3.3.1 Materiais empregados para o processo combustão

Podemos definir combustível como um material que contém carbono e que possui uma facilidade de ser queimado na presença de ar atmosférico. Este processo se inicia com o desprendimento do calor do material sem haver um grande esforço. Um exemplo de combustíveis são os compostos derivados do carbono, exemplificados na equação 2 e 3 (HILSDORF *et al*, 2004):



A maior parte dos combustíveis contém os elementos: carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre. Para obter uma boa qualidade deve haver uma relação com o carbono, oxigênio e o hidrogênio. Não é vantajoso a presença do enxofre na composição do combustível, juntamente com o nitrogênio, pois o nitrogênio na reação com o oxigênio não apresenta liberação do calor. Alguns requisitos devem ser considerados para que o material seja classificado com um combustível, como a facilidade de uso, não deve haver a formação de elementos tóxicos ou corrosivos, é necessário que o material seja de fácil obtenção, deve haver um baixo custo de produção para que seja viável, e o combustível deve se mostrar seguro para realizar o transporte e o seu armazenamento (HILSDORF *et al*, 2004).

O oxigênio é o comburente da reação, realiza a oxidação do combustível (reduzidor), reação definida como óxido-redução, a Tabela 5 descreve a composição do ar atmosférico (HILSDORF *et al*, 2004):

Tabela 5 - Composição do ar atmosférico.

Substância	Percentual (%)
Nitrogênio	78,03%
Oxigênio	20,99%
Argônio	0,94%
Dióxido de carbono	0,003%
Hidrogênio	0,01%
Neônio	0,00123%
Hélio	0,0004%
Criptônio	0,00005%
Xenônio	0,000006%

Fonte: HILSDORF *et al*, 2004.

Gases residuais da combustão ou fumos são substâncias que são geradas no processo de combustão, tais como monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido

de enxofre, e água que é liberada na forma de vapor. Os gases residuais são classificados em base seca ou base úmida, em base seca não é considerada a presença do vapor de água, já em base úmida esse vapor é considerado (HILSDORF *et al*, 2004).

Para haver o controle da combustão é necessário o conhecimento da composição dos gases residuais, principalmente a proporção de CO<sub>2</sub>. Os gases residuais possuem uma quantidade de calor aproveitável, denominado calor sensível dos fumos. Tem-se também o calor latente dos fumos que é determinado como uma quantidade de calor que poderá ser cedida no processo de combustão (HILSDORF *et al*, 2004).

### 3.3.1.1 Classificação dos combustíveis

Os combustíveis podem ser utilizados nas formas sólidas, líquidas e gasosas. Seu estado físico determina o método de conversão (SANTOS, 2013). Os combustíveis são subdivididos em combustíveis primários ou naturais e combustíveis secundários, preparados ou derivados, relacionados na Tabela 6 (HILSDORF *et al*, 2004):

Tabela 6 - Classificação geral dos combustíveis.

<b>Sólidos</b>	Combustíveis primários	Carvões minerais, madeira, etc.
	Combustíveis secundários	Coque, carvão vegetal, resíduos industriais, etc.
<b>Líquidos</b>	Combustíveis primários	Petróleo cru, gasolina natural, etc.
	Combustíveis secundários	Gasolina, querosene, óleo diesel, álcoois, etc.
<b>Gasosos</b>	Combustíveis primários	Gás natural
	Combustíveis secundários	Gás de hulha, gás pobre, etc.

### 3.3.2 Poder calorífico

É definido como uma proporção de calor que é capaz de ser obtido por meio da queima de determinada substância. É uma porção de calor disposto pela unidade de massa de um material combustível, quando entra no processo de combustão. Pode ser dividido em poder calorífico superior (PCS) e em poder calorífico inferior (PCI). PCS é determinado quando se leva em consideração a quantidade total da água presente nos fumos se encontra no estado líquido, e o PCI considera essa água nos fumos no estado de vapor. A diferença entre os dois poderes caloríficos está entre o calor latente de evaporação ou de condensação da água (HILSDORF *et al*, 2004).

No momento em que um combustível entra em combustão, gera calor, e essa quantidade de calor é proporcional ao peso desse material queimado, a quantidade de calor gerado varia em cada substância (HILSDORF *et al*, 2004).

## 3.4 Conversão Termoquímica da Biomassa

Através do alto aquecimento da biomassa em condições com pouca concentração de oxigênio, ocorre à quebra das ligações químicas, e com isso, a geração de compostos orgânicos pouco voláteis. Na decomposição térmica secundária de alguns compostos intermediários ocorre reações de polimerização, gerando produtos de alto peso molecular, como o carvão. A degradação térmica do material geram gases, como CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub> (PEREZ, *et al* S.D.).

### 3.4.1 Carbonização

Carbonização ou pirólise é definida como um processo onde os materiais contendo carbono são decompostos termicamente com o oxigênio em níveis controlados. Nesse processo a madeira sofre algumas transformações na sua estrutura, diminui a sua umidade, gera gases e líquidos orgânicos, e fixa o carvão vegetal e o alcatrão em um material como produto do procedimento (SANTOS, 2013).

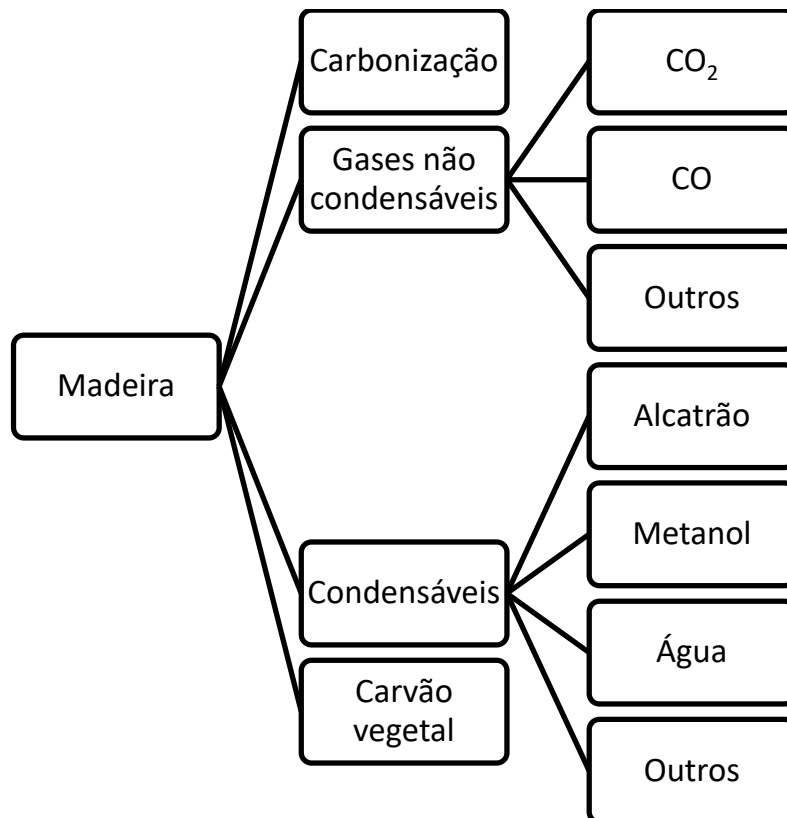
A combustão consiste na combinação de átomos de carbono e oxigênio, processo no qual é realizado a liberação de energia na forma de calor. A reação consiste em realizar um rearranjo dos elétrons externos dos átomos, energia que

mantem esses elétrons em suas órbitas, tal processo consiste em converter essa energia potencial em energia útil (HILSDORF *et al*, 2004).

Para haver a combustão é necessário que o sistema atinja um patamar energético denominado energia de ativação. Para isso, geralmente, eleva-se a temperatura do sistema. A reação é classificada como uma reação exotérmica por haver a liberação de calor, procedimento autossustentável até chegar ao fim do combustível (HILSDORF *et al*, 2004).

O processo de carbonização é subdividido em três fases: fase sólida (carvão vegetal), fase gasosa (gases não condensáveis) e fase líquida (fração pirolenhosa), detalhado na Figura 4 (SANTOS, 2013).

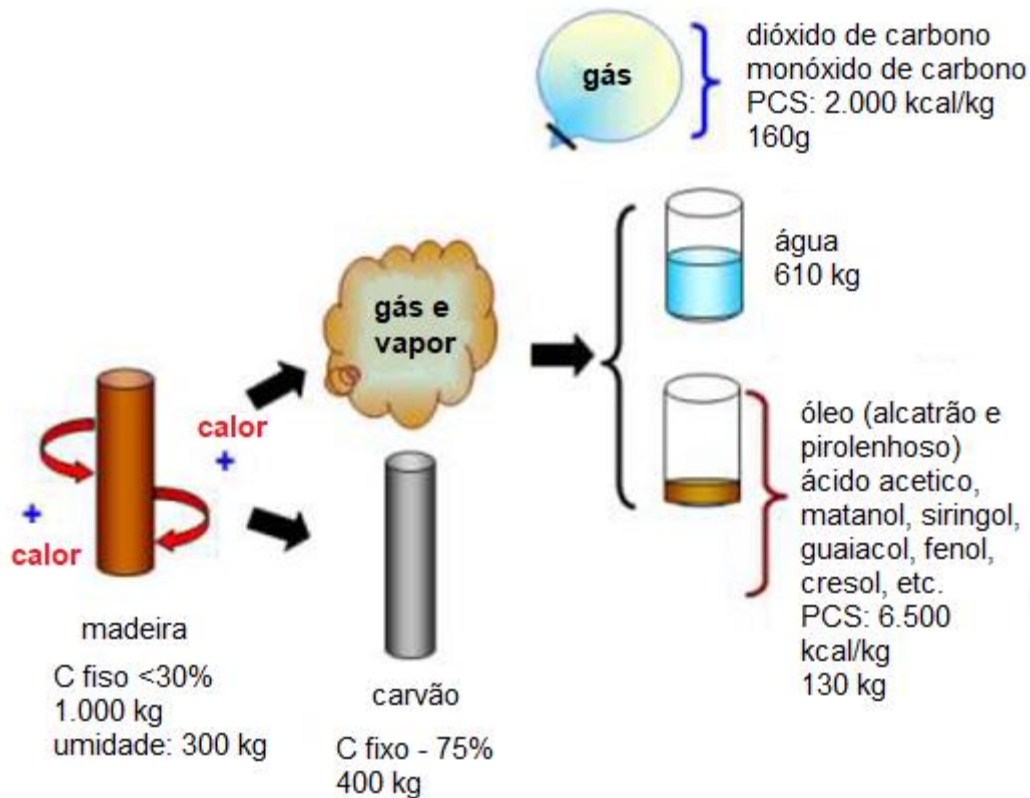
Figura 4 - Principais produtos obtidos a partir da carbonização da madeira.



Fonte: SANTOS, 2013.

A carbonização pode gerar até 40kg de carvão vegetal a partir de 100kg de madeira seca, apresenta um rendimento de 40%, é gerado aproximadamente 61kg de água com uma umidade inicial de 30% e pode gerar 13kg de óleo solúvel em água, reação que gera o ácido pirolenhoso. Também são gerados cerca de 16kg de gases não condensáveis, mostrado na Figura 5 (BENITES *et al*, 2010).

Figura 5 - Visão esquemática do processo de carbonização e da distribuição dos produtos, (temperatura final da concentração 350°C).



Fonte: Benites *et al*, 2010.

A reação de combustão ocorre no estado gasoso, em que o combustível líquido é evaporado e misturado com o oxigênio. Nos combustíveis sólidos acontece na interface sólido-gás, o processo de difusão do oxigênio ocorre por meio dos gases que rodeiam o material sólido (CO<sub>2</sub>) (HILSDORF *et al*, 2004).

Nos componentes da matéria prima o processo de combustão ocorre de maneira diferente. A celulose se degrada rapidamente, em um período de tempo curto, e com temperaturas perto de 50°C provocando drásticas mudanças no seu comportamento, e como a perda de 77% do seu peso. As substâncias hemiceluloses perdem peso em temperaturas em torno de 225°C, é o componente menos estável, é degradado quase completo em temperaturas próximas de 325°C. A lignina é o componente mais importante para a produção de carvão vegetal, o seu rendimento está relacionado com a quantidade de lignina presente na composição. A lignina começa a se degradar em temperaturas a partir de 150°C e começa a perder peso em

temperaturas superiores a 500°C, resultando no carvão vegetal. A carbonização pode ser subdividida em zonas, como as seguintes (BENITES *et al*, 2010):

- Zona A: até 200°C, nessas temperaturas são produzidos os gases não condensáveis, como o vapor de água, CO<sub>2</sub>, ácido fórmico e acético;
- Zona B: Temperaturas entre 200 e 280°C, nessa faixa são produzidos os gases da zona A e começa a diminuição do vapor de água e o surgimento CO. Reações ocorridas nessa zona são reações endotérmicas;
- Zona C: Compreendida entre 280 a 500°C, a reações exotérmicas. São gerados produtos que podem ocorrer reações secundárias, como o alcatrão, CO e CH<sub>4</sub>;
- Zona D: ocorre acima de 500°C, nessa faixa o carvão já é produzido e acontecem várias reações secundárias (BENITES *et al*, 2010).

A Tabela 7 detalha a evolução da carbonização da madeira em temperaturas crescentes (BENITES *et al*, 2010).

Tabela 7 - Evolução teórica da carbonização da madeira.

			Gases não condensáveis			
Fases da carbonização	Temperatura °C	Teor de carbono fixo	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	Hidrocarbonetos
		% em base seca				
Secagem	150 – 200	60	68,0	30,0	-	2,0
Gases oxigenados	200-280	68	66,5	30,0	0,2	3,3
Início da fase dos hidrocarbonetos	280-380	78	35,5	20,5	6,5	37,5
Fase dos hidrocarbonetos	380-500	84	31,5	12,3	7,5	48,7
Dissociação e contração	500-700	89	12,2	24,6	42,7	20,5
Fase do H <sub>2</sub>	700-900	91	0,5	9,7	80,9	8,9

Fonte: BENITES *et al*, 2010.

A combustão é classificada em completas, incompletas, e praticamente completa. A combustão completa é considerada o processo mais eficiente, dado que todos os elementos combustíveis presentes são transformados em dióxido de carbono (SANTOS, 2013). Já a combustão incompleta há um desequilíbrio nas substâncias, com pouco oxigênio, não há quantidade estequiométrica suficiente para oxidar todo o material combustível. Por fim, a combustão praticamente completa é realizada quando há uma maior quantidade de oxigênio que a estequiométrica necessária para oxidar todo o material combustível (HILSDORF *et al*, 2004).

No método de combustão incompleta os gases residuais expressam uma grande quantidade de substâncias não oxidada completamente, como CO, hidrocarbonetos. Durante o procedimento de combustão é gerado alguns produtos, tal como: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, cinzas, e carbono (carvão vegetal) (HILSDORF *et al*, 2004).

As condições necessárias se faz presente para haver uma boa combustão do material, dentre elas: uma quantidade de ar suficiente, uma mistura satisfatória do

combustível com o ar, temperatura elevada e tempo apropriado. Para haver uma boa eficácia do método de combustão deve haver uma relação entre o calor produzido na reação e o PCS (SANTOS, 2013).

A eficiência do processo de combustão está em torno de 60% a 75%, alguns fatores interferem nesse valor, tal como: teor de umidade do material, o controle de oxigênio e as características do equipamento (SANTOS, 2013).

O processo de combustão pode ser usado para a geração de calor no setor industrial, como em câmaras de combustão, caldeiras, secadores. Pode ser empregada no setor doméstico, em fogões a lenha, em fornos rurais. O processo de geração de calor está interligado a todos os processos de combustão, tal como: produção de vapor, produção de eletricidade, secagem de materiais/alimentos e empregues para preparar alimento (SANTOS, 2013).

### **3.4.2 Combustão direta**

A combustão direta é descrita como a queima de insumos originários da biomassa, nesse processo a queima irá gerar calor, podendo ser empregue para produzir energia elétrica ou aquecer ambientes. A combustão direta consiste na geração de energia química na forma de calor, ela é capaz de ser utilizada em fogões para cocção de alimentos, em fornos para a metalurgia e empregados em caldeiras com o intuito de gerar vapor. Processo prático, porém ineficiente. A combustão direta apresenta outro problema no seu processo, a alta umidade, como a lenha que possui cerca de 20% de umidade, e possui uma baixa densidade energética (ANEEL, 2005).

### **3.4.3 Gaseificação**

Gaseificação é um processo de transformação do material de biomassa em um gás combustível, através da oxidação parcial do material em altas temperaturas. O gás combustível é composto em média de 15% a 30% de CO, 12% a 40% de H<sub>2</sub> e 4,5% a 9% de CH<sub>4</sub>. Possui um PCS entre 4 MJ e 13 MJ por metro cúbico (LORA, S.D.).

O processo de gaseificação da biomassa é realizado em equipamentos chamados gaseificadores. O gás gerado percorre por quatro áreas na parte interna do

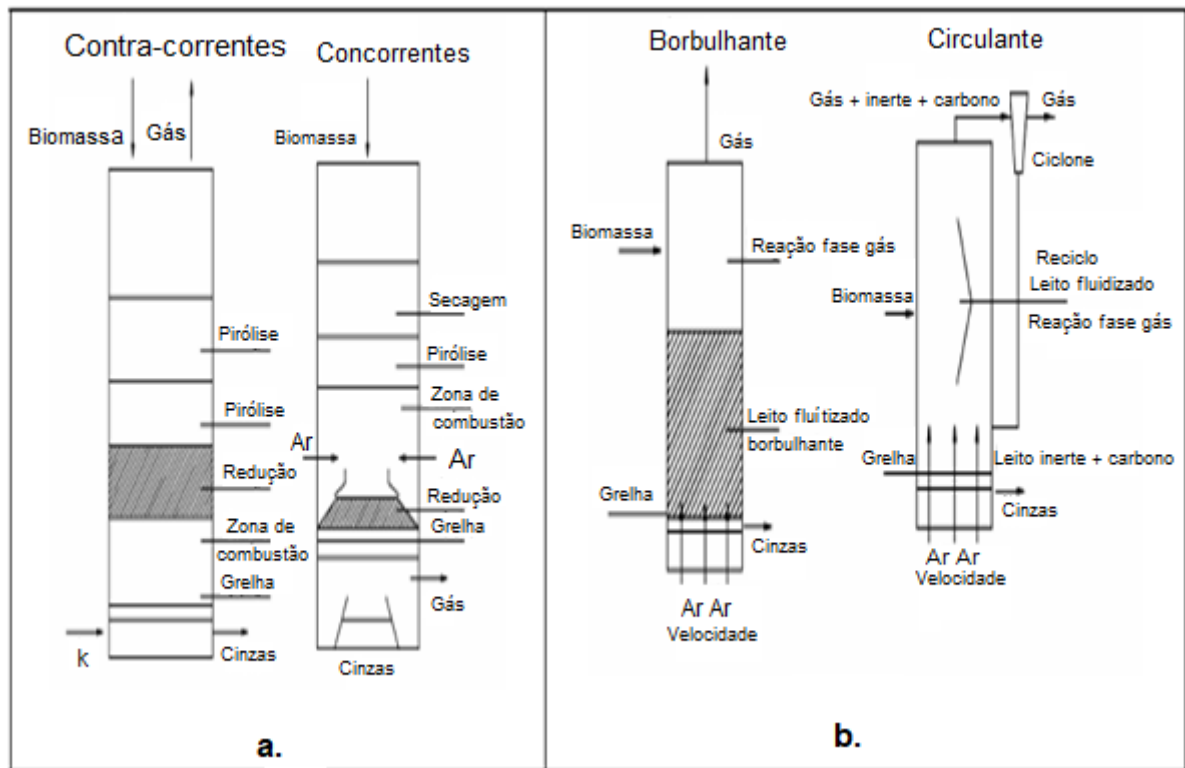
reator, zonas de secagem da biomassa, pirólise, combustão e redução. A porção de umidade removida no processo é de 5% a 25%, ocorre em temperaturas perto de 100°C na área de secagem (SALES, 2006).

A gaseificação é um processo um pouco mais complicado de ser efetuado, embora se mostre vantajoso quando relacionado com a combustão direta. É possível realizar a transformação de eletricidade em pequena escala sem a necessidade de utilizar um motor de combustão de um ciclo a vapor, podendo empregar o gás gerado a partir da biomassa de modo direto em um motor de combustão interna ou em um motor stirling, microturbina a gás ou célula combustível. Processo que é capaz de possuir eficiências energéticas comparáveis com as térmicas a carvão (LORA, S.D.).

Os gaseificadores são classificados pela sua pressão atmosférica ou pressurizados, e em segunda classe em leito como fixo ou fluidizado. Gaseificadores de leito fixo são divididos em concorrente, contracorrente e fluxo cruzado, os gaseificadores de leito fluidizados são subdivididos em borbulhante e circulante (SALES, 2006).

Gaseificador de leito fixo apresenta como vantagem a utilização de uma tecnologia simples, embora haja uma demarcação de delimitação da planta de 10 a 15 toneladas de biomassa seca por hora, geralmente funciona em uma temperatura de 1.000°C. A Figura 6 descreve as subdivisões de acordo com a direção do fluxo de ar: contracorrente, corrente ou fluxo cruzado (SALES, 2006).

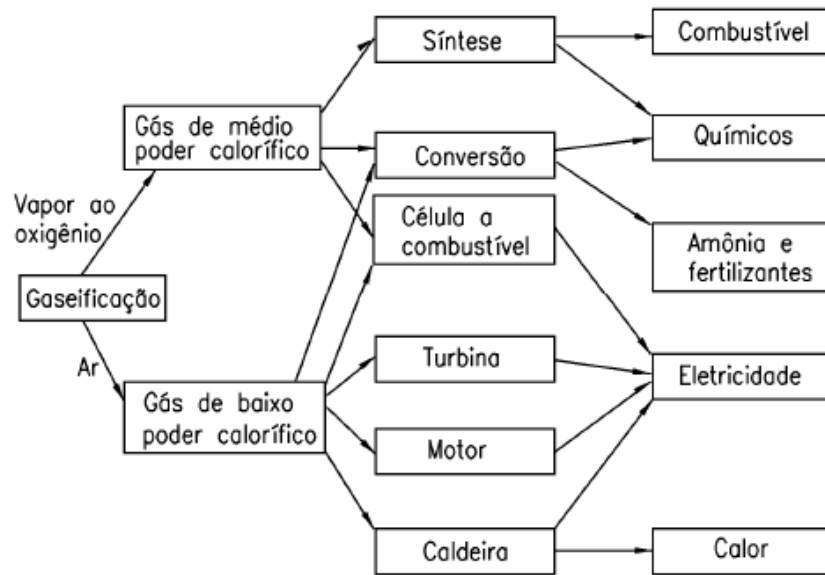
Figura 6 - Subdivisão dos gaseificadores de acordo com a direção relacionada à movimentação do gás e da biomassa. a) Gaseificadores de leito fixo, b) Gaseificadores de leito fluidizado.



Fonte: LORA, S.D.

Outra subdivisão dos gaseificadores de biomassa é o poder calorífico do gás produzido (gás que possui baixo, médio ou alto poder calorífico), a Figura 7 descreve os empregos da gaseificação do material de biomassa em relação a sua dependência do poder calorífico, tipo de agentes de gaseificação (ar, vapor de água, oxigênio), pressão de trabalho (baixa pressão, pressurizados) (LORA, S.D.).

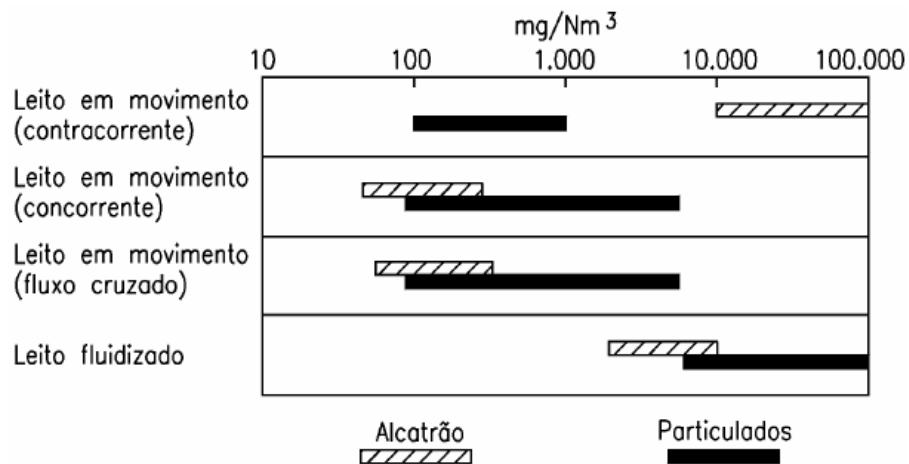
Figura 7 - Aplicações da gaseificação da biomassa devido ao poder calorífico do biogás.



Fonte: LORA, S.D.

O gás gerado do processo de gaseificação da biomassa apresenta alguns contaminantes, tais como: partículas sólidas, alcatrão, metais alcalinos, sulfeto de hidrogênio e amônia, necessitam ser removidos, sua presença pode causar sérios problemas no decorrer do funcionamento dos mecanismos energéticos. A uma variação da concentração dos contaminantes devido do tipo de gaseificador, indicado na Figura 8 (LORA, S.D.).

Figura 8 - Parcela de alteração da proporção de alcatrão e particulado no gás alcançado em diversos métodos de gaseificadores.



Fonte: LORA, S.D.

É necessário realizar uma limpeza do gás antes de ser empregado em algum processo de fornecimento de potência (motores de combustão interna, turbinas, entre outros), e respeitar padrões de qualidade ambiental. A Tabela 8 descreve a diminuição da proporção de alcatrão e particulados (SALES, 2006).

Tabela 8 - Diminuição da proporção de alcatrão e particulados.

Sistema de limpeza	T ° (C)	Redução do teor de particulados (%)	Redução do teor de alcatrão
Filtro de areia	10 a 20	70 a 99	50 a 97
Torre de lavagem	50 a 60	60 a 98	10 a 25
Lavador Venturi	-	-	50 a 90
Precipitador eletrostático	40 a 60	>99	0 a 60
Filtro de mangas	130	70 a 95	0 a 50
Absorvente de alcatrão de leito fixo	80	-	50
Craqueamento catalítico	900	-	>95

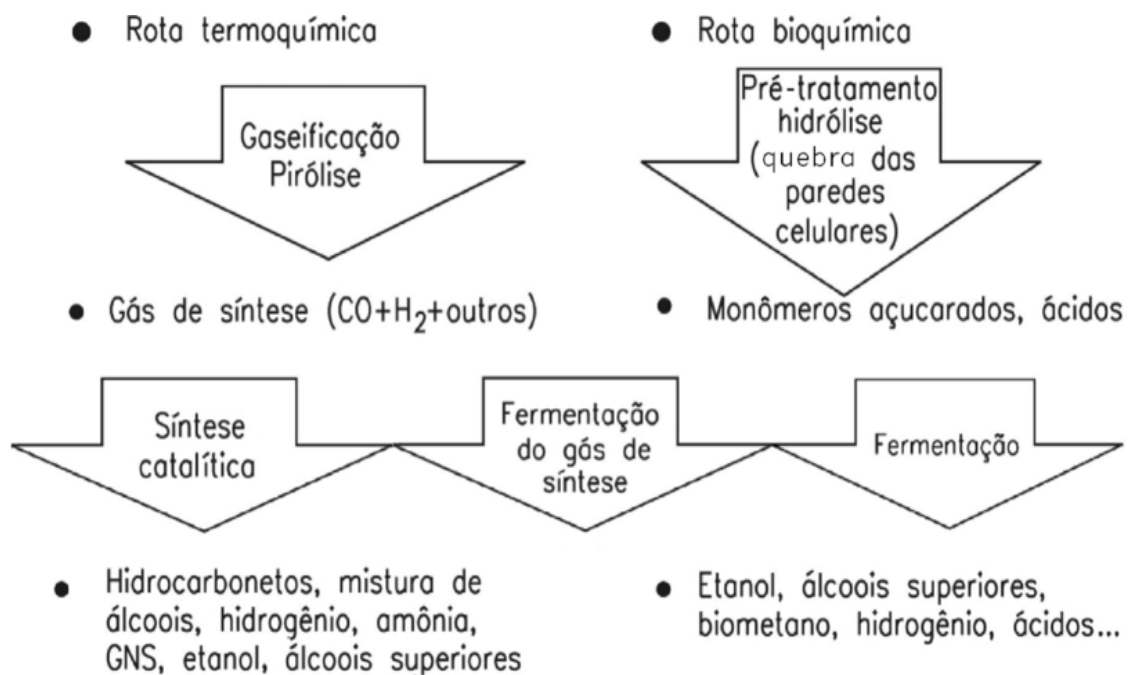
Fonte: SALES, 2006.

O gás gerado no processo de gasificação pode ser empregado em diversas finalidades, tais como: incineração em queimadores de caldeiras para a geração de vapor, queima em secadores para secagem em peças cerâmicas, incineração em câmaras de combustão de motores de combustão interna (diesel e otto) e externa (stirling), turbinas a gás, e células combustíveis (SALES, 2006.).

### 3.5 Conversão Bioquímica

No processo de conversão bioquímica da biomassa é realizado com a utilização de enzimas de bactérias e outros micro-organismos para realizar a quebra da biomassa por meio de processos como a digestão anaeróbica e a fermentação. A Figura 9 descreve o processo bioquímico de conversão da biomassa (MOURA, 2012).

Figura 9 - Processo de conversão termoquímica e bioquímica.



Fonte: MOURA, 2012.

#### 3.5.1 Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica acontece na ausência de ar, o processo tem início na decomposição do material por meio de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Processo que ocorre naturalmente com a maior parte dos compostos orgânicos (ANEEL, 2005).

Alguns materiais que possuem um alto potencial energético, tal como: resíduos industriais, esterco de animais, entre outros, podem ser empregues na digestão anaeróbica e em biodigestores, processos favoráveis pela umidade e aquecimento. O aquecimento ocorre devido da ação das bactérias, porém em regiões frias é

necessário adicionar calor, a reação necessita de uma temperatura aproximada de 35° C (ANEEL, 2005).

O produto final gerado é o biogás, em sua composição apresenta cerca de 50% a 75% de metano e dióxido de carbono. Seu poder energético possui aproximadamente 5.500 kcal por metro cúbico. Durante o processo é gerado um líquido que poder ser empregado como fertilizante (ANEEL, 2005).

### **3.5.2 Fermentação**

Fermentação é definida como um processo biológico anaeróbico, ou seja, sem a presença de oxigênio, em que os açúcares de algumas plantas, como a batata, o milho, a cana de açúcar, entre outros, são convertidos em álcool devido à ação de microrganismos, muito utilizado as leveduras. O produto gerado é o álcool que é composto por etanol, e em uma menor quantidade o metanol, podendo ser empregado como combustível em motores a combustão interna (ANEEL, 2005).

### **3.6 Conversão Físico-química**

O método de conversão físico-químico da biomassa, característico de vegetais oleaginosos, é descrito como um procedimento de prensagem ou compressão, onde é realizada a extração dos óleos vegetais, logo após ocorre alterações química em mecanismos chamados de esterificação e transesterificação (MOURA, 2012).

Figura 10 - Conversão físico-química da biomassa.



Fonte: MOURA, 2012.

### 3.6.1 Transesterificação

Definido como um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo como o metóxido ou etóxido, gerado da reação entre álcoois como o metanol ou etanol e composto também de uma base, o hidróxido de sódio ou de potássio. São gerados produtos decorrentes dessa reação química, a glicerina e uma mistura de éster etílico ou metílico, o biodiesel. O biodiesel possui algumas características físico-químicas equivalentes às do óleo diesel, devido a essas características pode ser empregue em motores a combustão interna (ANEEL, 2005).

No processo de transesterificação acontece a separação da glicerina do óleo vegetal. Aproximadamente 20% da molécula de óleo vegetal são compostas por glicerina. Devido da presença de glicerina presente nos compostos, o óleo fica mais denso e viscoso. Ao longo do método de transesterificação, a glicerina é extraída do

óleo vegetal, com isso resulta em um o óleo mais fino e reduz a sua viscosidade (MOURA, 2012).

Durante o processo de produção de biodiesel, os ésteres no óleo vegetal são separados da glicerina. Os ésteres são substâncias que compõe à base do biodiesel. No decorrer do processo, a glicerina é alterada pelo álcool, resultante do etanol ou metanol (MOURA, 2012).

### **3.6.2 Esterificação**

É um processo no qual ocorre uma reação química em que os óleos vegetais ou gordura de animais, reagem com um álcool devido da utilização de um catalisador, comumente é empregue um ácido, obtendo como um produto final um biodiesel (MOURA, 2012).

## **3.7 Principais Biomassas Utilizadas no Brasil**

Existem diversas plantas que podem ser cultivadas para serem empregues como fontes energéticas. As plantas marinhas e os grãos nos últimos anos têm demonstrado um alto potencial como fonte de metanol e etanol (HINRICHS *et al*, 2010).

Para a utilização de determinada biomassa deve ser considerada a possibilidade de que ela seja capaz de suprir o mercado, até os dias de hoje todas as biomassas que foram inseridas na matriz energética, possuindo um preço baixo, uma tecnologia compatível, conseguiram suprir ao mercado que foram inseridas. A lenha de silvicultura atende ao mercado doméstico e industrial, o etanol está inserido nos automóveis brasileiros e exportado para diversos países, as plantações de oleaginosas conseguem substituir o diesel. Com isso, todo combustível que possuir um baixo preço e vantagens comparativas, irá possuir um mercado (GENTIL, 2011).

Dentre as biomassas, há a classificação de biomassas emergentes, que são as biomassas que possuem uma baixa participação de mercado, de uso setorial, como o biogás de lixo ou de esgoto, este material possui um grande potencial de mercado, porém é pouco utilizado, os briquetes de madeira possuem pouca demanda; algas

marinhas possuem um grande potencial, porém, são pouco exploradas; o excremento de gado possui um grande mercado na Índia e o Brasil possui cerca de 200 milhões de cabeças de gado, uma boa destinação para esse resíduo. Na Tabela 9 segue relacionadas 36 biomassas e biocombustíveis que possuem potencial para suprir um percentual da matriz energética (GENTIL, 2011).

Tabela 9 - Biomassas e biocombustíveis

Lenha nativa e plantada	Licor negro	Resíduos madeireiros	Lodo – ETE
Álcool (etanol/metanol)	Biodiesel	Biogás, Syngas	Bio-óleo
Pelete e briquete	Alga, pó de fumo	Óleos, sebos e graxas animais	Cocos de todos os tipos
Resíduos agrícolas	Excremento animal	Lixo	Cavacos de madeira
Resíduos florestais	Excremento humano	Poda urbana	Casca de laranja, coco e café
Turfa	Serragem e maravalha	Resíduos da construção civil	Resíduos de frigoríficos
Carvão vegetal	Couro	Caixaria e paletes	Resinas inflamáveis
Gasogênio	H-Bio, farneseno	Papel/embalagem de papelão	Resíduos industriais
Óleos vegetais	Água-pé	Restos da indústria de móveis	Árvores secas

Fonte: GENTIL, 2011.

As biomassas energéticas são subdivididas em: biomassa florestal, biomassa agrícola, rejeitos urbanos e industriais. O potencial energético dessas biomassas varia de acordo com a matéria prima utilizada e a tecnologia aplicada no processo de produção de energia. A Tabela 10 relaciona a classificação dos biocombustíveis de biomassa (CARDOSO, 2012).

Tabela 10 - Classificação dos biocombustíveis de biomassa

Nível 1	Nível 2	Definição
Biocombustíveis florestais	Gerados direto da madeira	Madeira plantada para utilizações energéticas, empregada diretamente ou indiretamente como combustível;
	Gerados indiretos da madeira	Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, gerados da exploração das florestas e do resultado do processamento industrial da madeira para utilizações energéticas;
	Combustíveis de madeira reaproveitada	Madeira utilizada como combustível, gerada a partir de serviços que utilizam produtos de origem florestal;
Biocombustíveis não florestais (agrocombustíveis)	Plantação energética	Combustíveis sólidos e líquidos gerados de plantações, como o álcool e a cana-de-açúcar;
	Subprodutos agrícolas	Resíduos de colheita, como palha e folha;
	Subprodutos animais	Esterco de aves, bovinos e suínos;
	Subprodutos agroindustriais	Bagaço de cana e a casca de arroz;
Resíduos urbanos e industriais		Resíduos sólidos e líquidos gerados em cidades e indústrias, como resíduos de alimentos.

Fonte: KLAUS, 2014.

### 3.7.1 Biomassas florestais

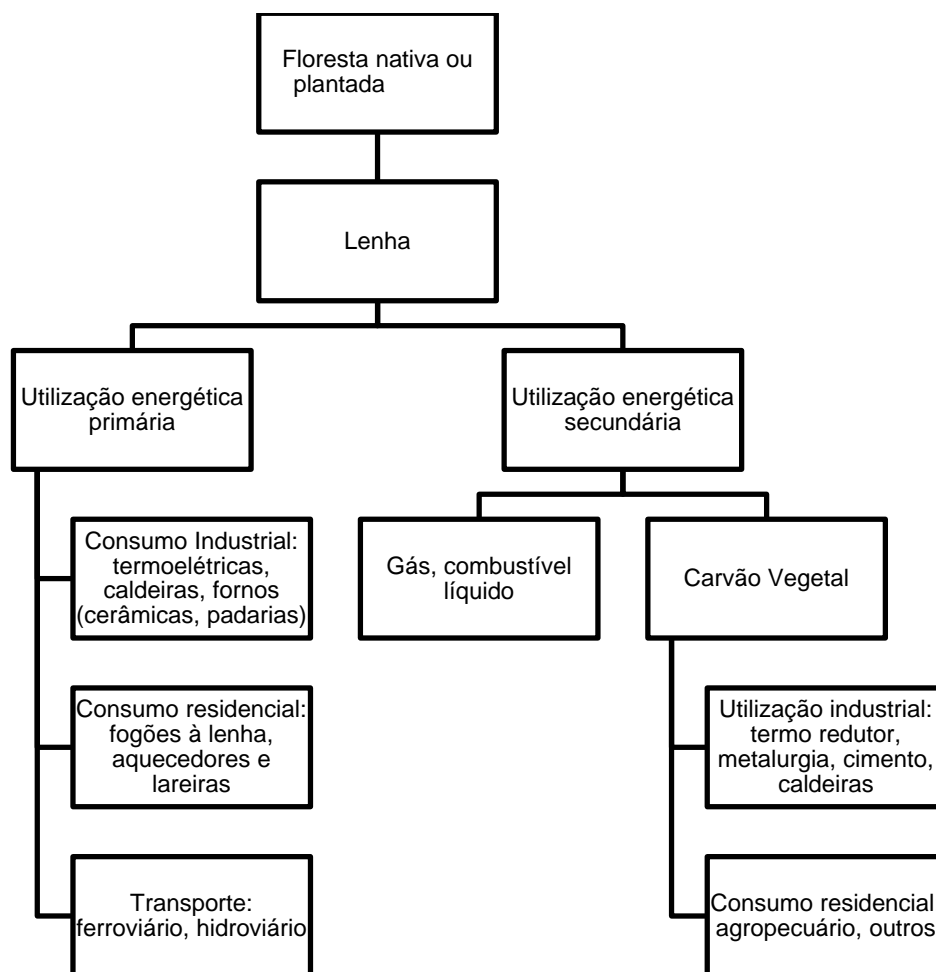
A biomassa florestal é composta por produtos e subprodutos dos recursos florestais, como a lenha e o carvão vegetal que podem ser originários de florestas cultivadas ou florestas nativas, materiais empregados diretamente ou indiretamente

resultante do processamento industrial da madeira, derivada de atividades socioeconômicas (CARDOSO, 2012).

O poder energético da madeira está relacionado a celulose e lignina contidas na matéria e o baixo teor de umidade, que podem ser empregados para a produção tanto de biomassa como de combustíveis líquidos e gasosos (CARDOSO, 2012).

A Figura 11 descreve as principais utilizações da biomassa florestal como fonte energética no Brasil.

Figura 11 - Esquema da utilização da biomassa florestal.

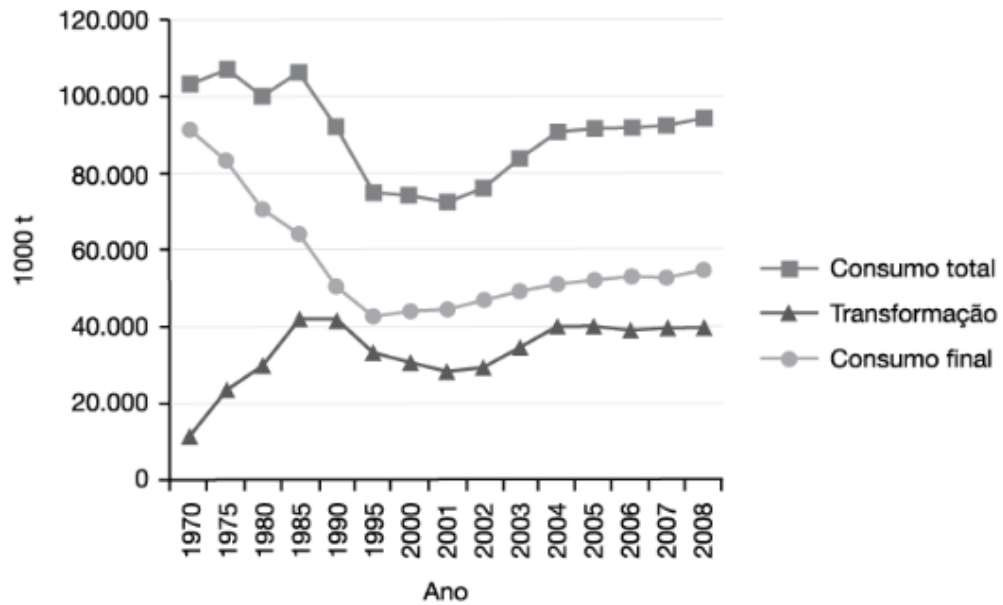


Fonte: SANTOS, 2013.

Nos últimos anos a produção de biomassa florestal energética foi empregada na maior parte para a transformação em carvoarias e centrais termelétricas, de acordo com pesquisas 42% da produção total são empregues no consumo e uso final primário, e em 52% dessa produção total são utilizadas em residências e no

transporte. O Gráfico 10 detalha o consumo total de biomassa florestal desde o ano de 1970 a 2008 (SANTOS, 2013).

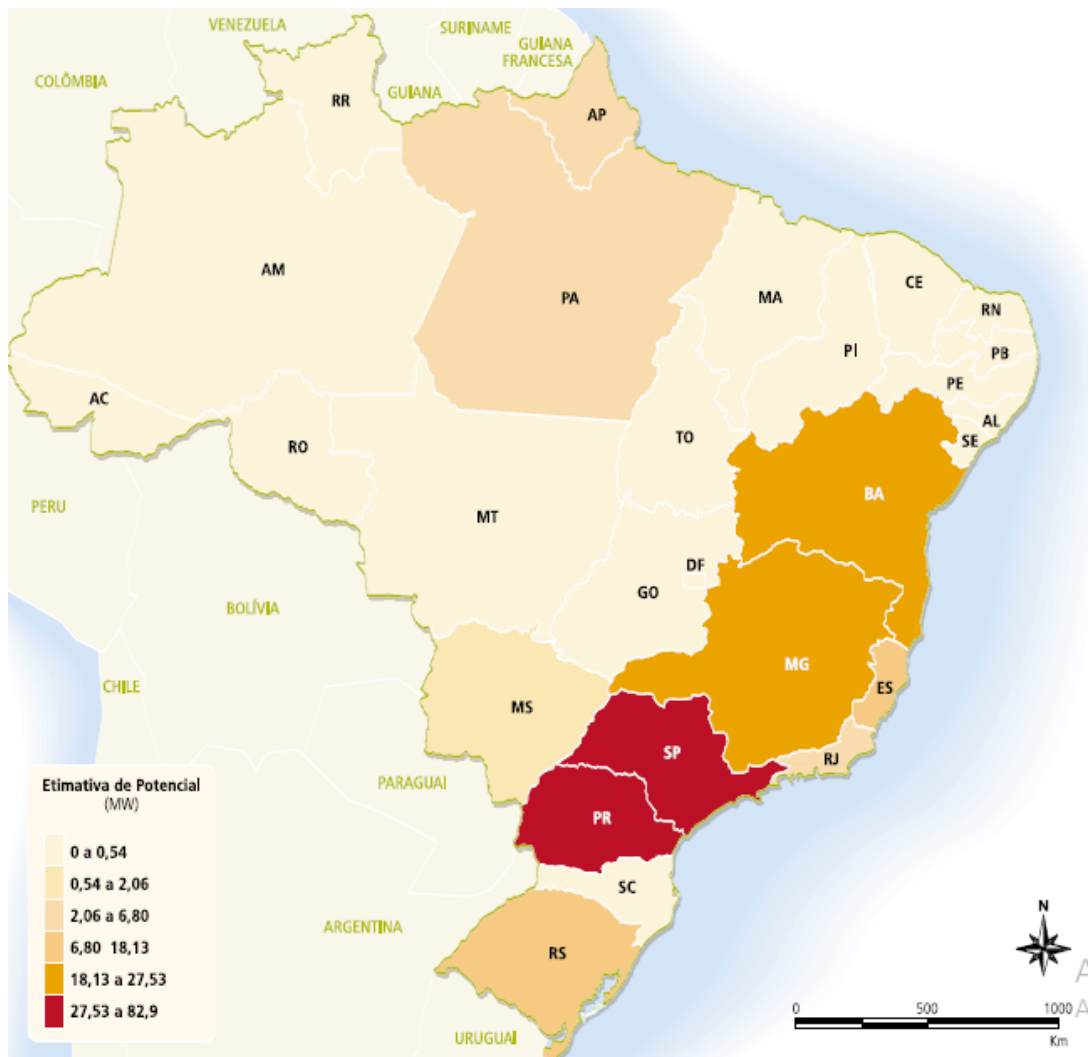
Gráfico 10 - Consumo de biomassa florestal entre 1970 a 2008.



Fonte: SANTOS, 2013.

A Figura 12 aponta o potencial de produção de energia elétrica a partir de resíduos florestais da silvicultura.

Figura 12 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura).



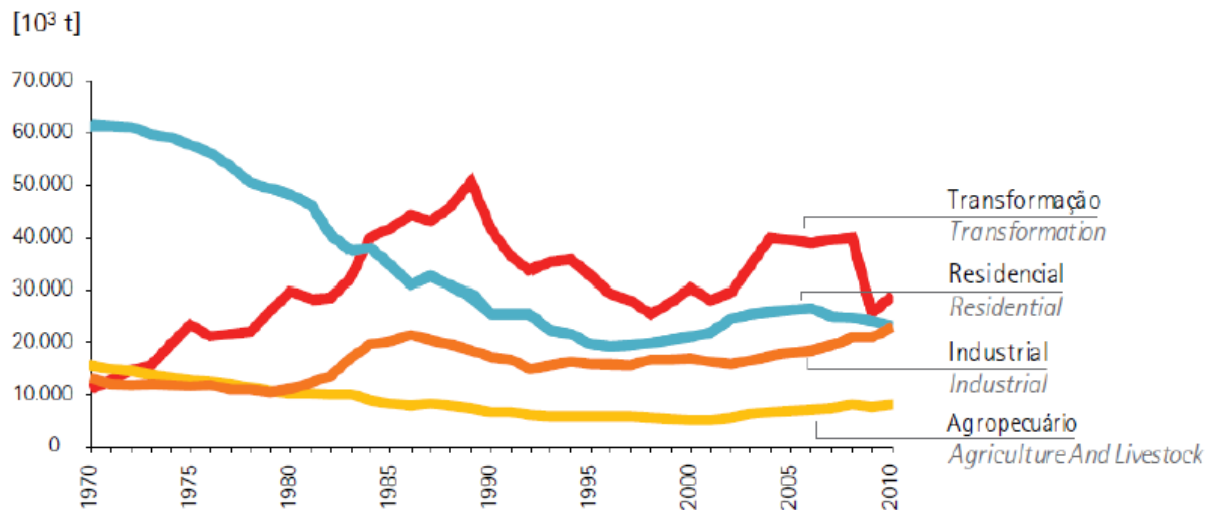
Fonte: ANEEL, 2005.

### 3.7.1.1 Lenha

Estudos realizados no Brasil no ano de 2010 em relação à produção de lenha constataram que o país produziu cerca de 84,101 milhões de toneladas de lenha, das quais, 27,86 milhões de toneladas, (33,1%) foi utilizado como matéria prima para produzir carvão vegetal, 1,235 milhões de toneladas, (1,5%), foi empregado diretamente na produção de energia elétrica. O setor residencial consome 27,9% do total de lenha produzida no país, geralmente empregue no preparo de alimentos. O setor industrial é responsável por 27,5% do consumo de lenha e os 10% restantes é

consumido pelo setor comercial e agropecuário (CARDOSO, 2012). O Gráfico 11 aponta o consumo de lenha no Brasil no período entre 1970 e 2010.

Gráfico 11 - Histórico do consumo de lenha no Brasil.



Fonte: CARDOSO, 2012.

### 3.7.1.2 Carvão vegetal

O carvão vegetal é utilizado no Brasil como matéria prima para geração de energia térmica desde o início da indústria de aço no país. É utilizado como energia térmica para a produção do ferro gusa por não haver enxofre na sua composição, melhorando assim sua qualidade. O setor industrial consome por volta de 90,5% de toda a produção de carvão vegetal fabricada no Brasil, uma grande parte dessa produção usada para a fabricação do ferro gusa. O setor residencial corresponde a 8,3% do consumo total de carvão vegetal, e atende a 635,8 mil domicílios que consomem carvão vegetal para cozinhar. No Brasil faz parte da cultura o hábito de preparar alimentos utilizando o carvão vegetal, como o churrasco, essa é uma das razões pelo qual muitas famílias o utilizam o carvão vegetal como combustível (NOGUEIRA, 2007). Nos últimos anos 60,3% de todo carvão vegetal fabricado no Brasil era originário de florestas nativas (NOGUEIRA, 2007).

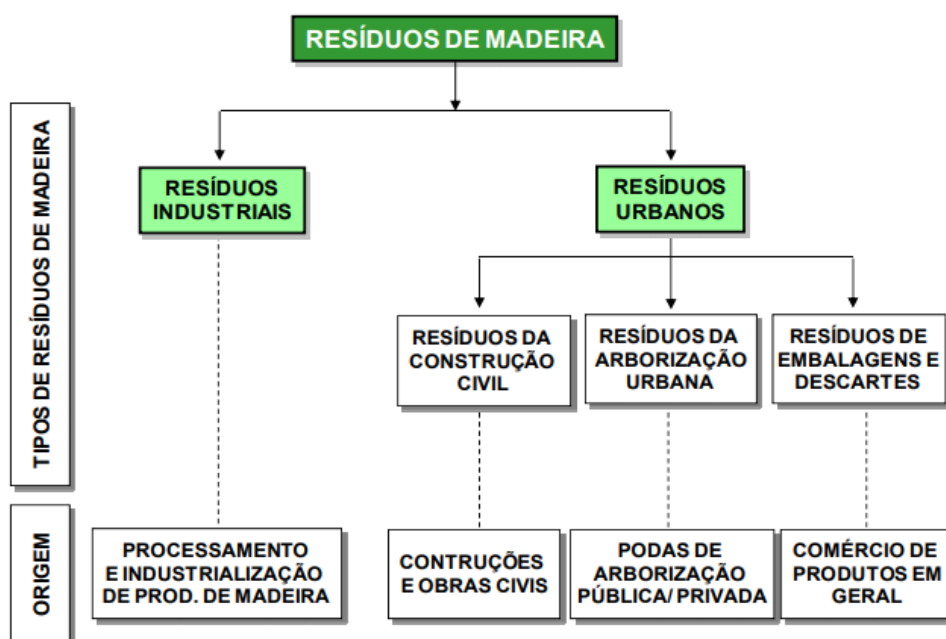
O PCS do carvão vegetal está relacionado com os elementos químicos elementares dos combustíveis, as proporções de hidrogênio, oxigênio e carbono na

composição do material, com isso, podemos compreender o potencial da biomassa. Certamente, por haver semelhanças encontradas nas relações Hidrogênio/Carbono e Oxigênio/Carbono encontradas, o PCS dos carvões e das madeiras avaliadas será semelhante. Altas relações Carbono/Nitrogênio, ou baixas relações Nitrogênio/Carbono, demandam de uma baixa emissão de nitrogênio na atmosfera, com isso menor será a emissão de poluentes, além do mais essa relação Carbono/Nitrogênio interfere na umidade do material e na velocidade de liberação. O carvão vegetal produzido a temperaturas baixas retém mais o nitrogênio, porém em temperaturas elevadas o elemento é liberado (LEITE *et al*, 2015).

### 3.7.1.3 Resíduos de madeira e do Licor negro

A indústria madeireira gera diversos resíduos na sua produção, a utilização da madeira em determinadas atividades como na construção civil, descarte de embalagens, poda da arborização urbana, entre outros, geram uma quantidade significativa de resíduos. A Figura 13 detalha a classificação dos tipos de resíduos da madeira (WIECHETECK, 2009).

Figura 13 – Classificação dos resíduos da madeira.



Fonte: WIECHETECK, 2009

O licor negro ou licor preto é outro resíduo derivado da madeira, ele é gerado através de um processo químico da indústria de papel e celulose. É resultado da mistura de substâncias químicas inorgânicas da digestão, resíduos da madeira ricos e matérias orgânicas da madeira. O processo de produção do licor é realizado em um digestor em temperaturas em torno de 180°C com hidróxido de sódio e sulfureto de sódio em uma solução aquosa. Após esses procedimentos é produzido o licor negro (EMBRAPA, 2018).

O licor negro é constituído de compostos orgânicos de sódio e enxofre, carbonato de sódio, sulfeto de sódio, entre outros. Com a queima do licor negro é possível gerar energia (EMBRAPA, 2018).

### **3.7.2 Biomassas não florestais (agrocombustíveis)**

É definida como a biomassa proveniente de plantações agrícolas, gerado a partir de colheitas anuais, materiais que são selecionados devido suas propriedades, tal como: teor de amido, celulose, carboidratos, e lipídios (CARDOSO, 2012).

O Brasil é um grande produtor agrícola, produz uma alta variedade de produtos agrícolas que possuem um alto potencial para a utilização como fonte energética, materiais como o milho, soja, casca de arroz, cana-de-açúcar, capim elefante, entre outros (MOURAD *et al*, 2004).

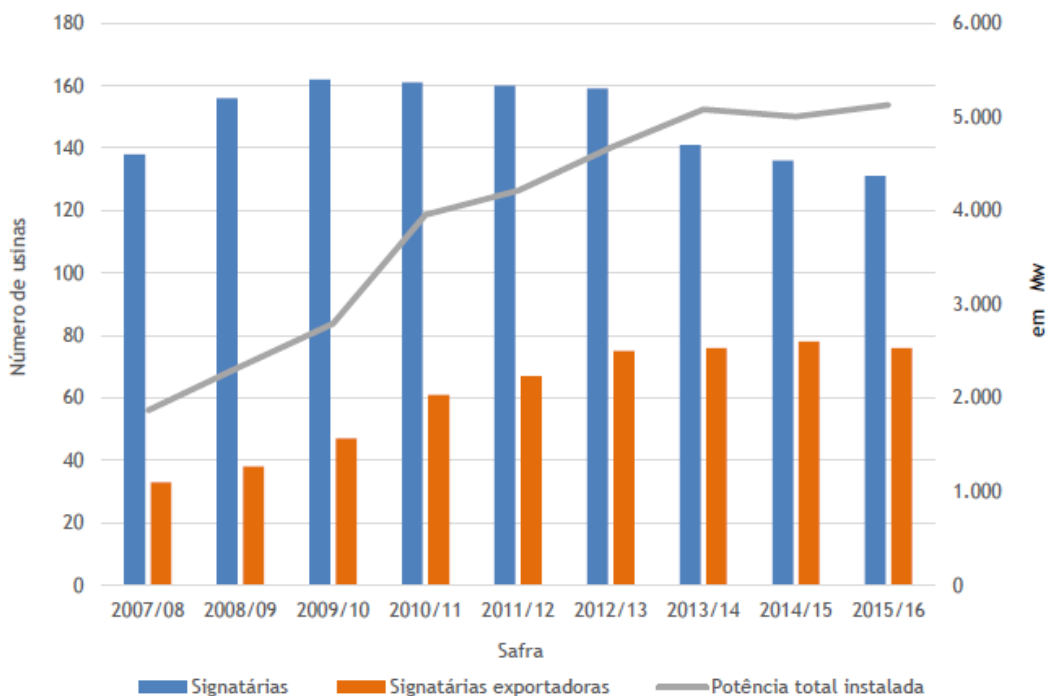
#### **3.7.2.1 Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar chegou até o Brasil no começo do século XVI pelos portugueses, nos últimos anos também tem sido utilizada para a produção de energia. A cana-de-açúcar possui um grande potencial para compor a matriz de energia elétrica, auxiliando as usinas hidrelétricas. No período de seca os reservatórios das hidrelétricas se encontram em um nível abaixo do normal e nesse período ocorre a alta produção de energia da biomassa de cana-de-açúcar. A maior parte da produção de energia elétrica gerada a partir dessa biomassa se encontra na região Sudeste, localizadas cerca dos maiores centros comerciais do país (RAMOS, 2017).

No ano de 2007 no Estado de São Paulo foi realizado um acordo entre as Secretarias do Meio Ambiente, Agricultura e Abastecimento e o Setor

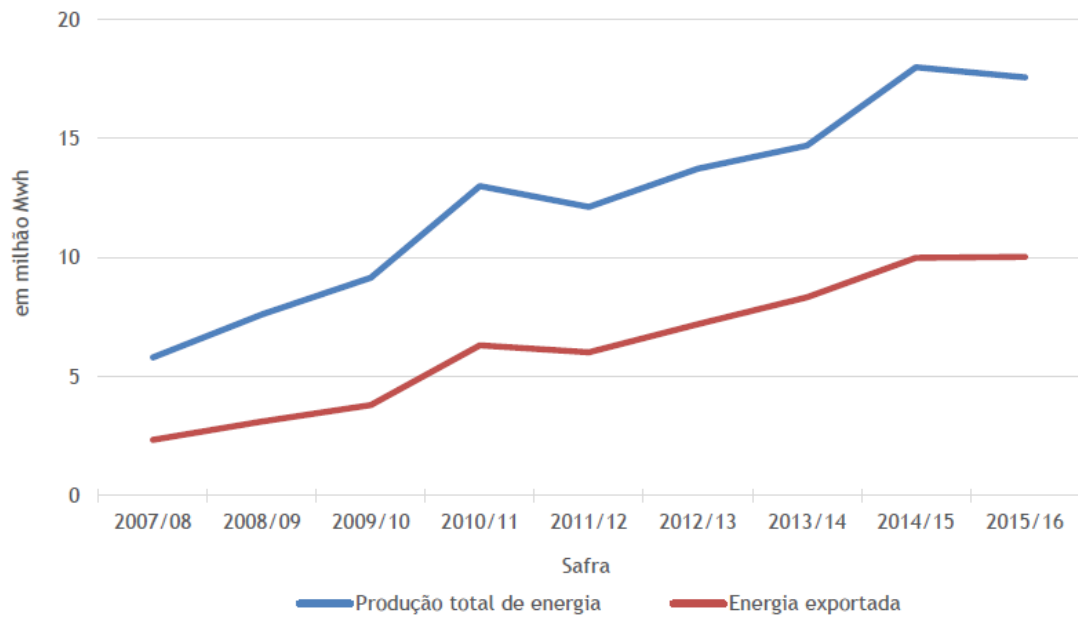
Sucroenergético, com o intuito de ampliar um desenvolvimento sustentável na indústria de cana-de-açúcar. Após esse acordo o setor evoluiu consideravelmente na produção de energia, o setor é autossuficiente na produção de energia elétrica, e seus excedentes são vendidos para o sistema interligado nacional (SIN). Em relação à potência instalada, nos últimos anos sofreram um aumento de 1.865,05 MW para 5.1125,51 MW (RAMOS, 2017). O Gráfico 12 detalha a quantidade de indústrias signatárias localizadas no estado de São Paulo e sua potência instalada. Em termos de energia produzida, houve um aumento de 3,02 vezes em MWh, entre as safras de 2007/08 e 2015/16, e exportaram para o SIN 4,27 vezes a mais em MWh (RAMOS, 2017). A Figura 14 descreve a produção total e exportação de energia das indústrias de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

Gráfico 12 - Número de Usinas Signatárias que produzem e exportam energia e a sua potência instalada no Estado de São Paulo.



Fonte: RAMOS, 2017.

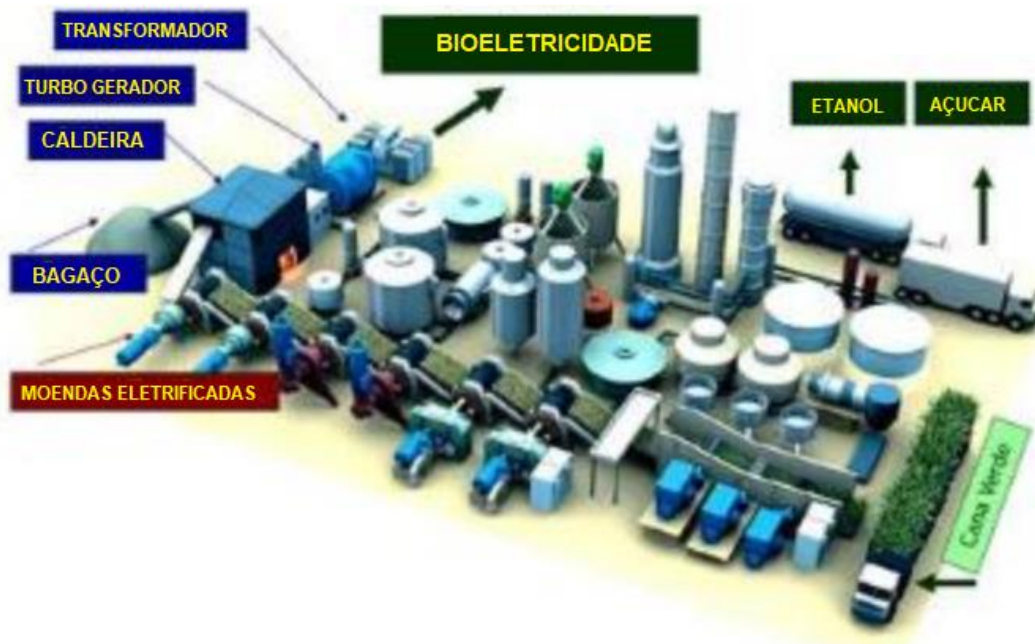
Figura 14 - Produção total e exportação de energia das indústrias de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.



Fonte: RAMOS, 2017.

Na produção e na exportação de energia elétrica o setor sucroenergético tem apresentado uma grande capacidade para a produção de energia elétrica, podendo contribuir com a matriz energética. A Figura 15 descreve o processo de geração de energia sucroenergético (RAMOS, 2017).

Figura 15 - Processo sucroenergético.



Fonte: WEG, 2010.

### 3.7.2.2 Casca de arroz

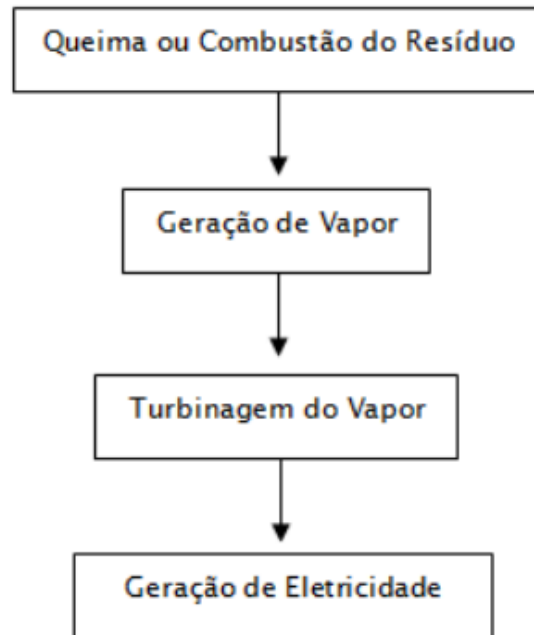
A partir da década de 80 o Brasil começou a exportar arroz em poucas quantidades e em apenas alguns anos se tornou um dos principais países a fornecer esse produto, aproximadamente 2 milhões de toneladas foram exportadas no período entre 1997 e 1998. A produção de arroz entre 2010 e 2011 foi de aproximadamente 12.831,40 mil toneladas, a maior parte da produção 64,35%, se encontra no Rio Grande do Sul, o maior produtor do país (SILVA, S.D.). O arroz pode ser cultivado em áreas de várzeas sistematizadas (arroz irrigado) ou em áreas elevadas (arroz de sequeiro) (MOURAD *et al*, 2004).

A casca de arroz compõe cerca de 20% do peso do arroz, uma grande quantidade descartada, podendo gerar grandes problemas ambientais na região onde é produzido. Esse material pode ser empregado como matéria prima para a produção de energia (SILVA *et al*, 2012).

A umidade presente na casca do arroz varia em cada época do ano, em torno de 25% a 30%, a umidade ideal está entre 12% a 15%, sendo assim é necessário realizar a secagem e a queima de uma parte das cascas, os gases gerados no processo de combustão podem ser utilizados como forma de aquecimento (SILVA *et al*, 2012).

O processo para conversão de energia da biomassa pode ser empregado em diversas formas, dentre elas o processo de geração de vapor, o vapor gerado pode ser utilizado para a produção de energia elétrica, como no processo das termelétricas, representado na Figura 16 (SILVA *et al*, 2012).

Figura 16 - Geração de eletricidade através da casca de arroz.



Fonte: SILVA, S.D.

Na realização do cálculo do poder calorífico da casca de arroz para a produção de energia é considerada apenas a casca de arroz, que constitui 30% do peso total do arroz. Foi verificado que o PCI da casca de arroz é de  $3.384 \text{ kcal.kg}^{-1}$  e foi determinado que o uso em ciclos de pequeno porte possui um aproveitamento de 15%. A equação descreve o potencial energético da casca de arroz em MW por ano (HENRIQUE, S.D.).

$$\text{Potencial (MW/ano)} = [(t \text{ Arroz} * 0,3) * \text{PCI}(\text{kcal.kg}^{-1}) * 0,15] / 860 * 8322$$

Em que:

T Arroz= Quantidade de arroz produzido em toneladas.

A casca de arroz possui um alto potencial para a geração de energia, se todo esse potencial fosse utilizado poderia suprir 0,21% da matriz energética nacional, a Tabela 11 descreve a capacidade de produção de energia em determinadas regiões do Brasil (HENRIQUE, S.D.).

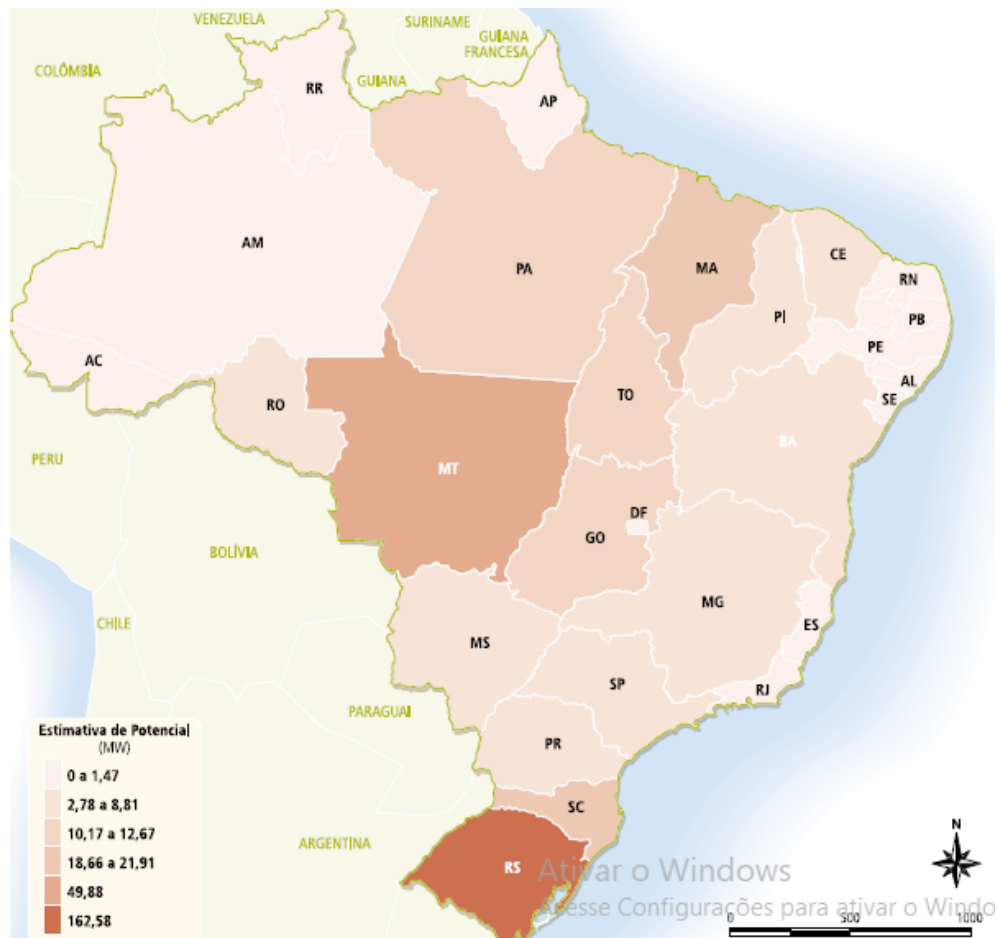
Tabela 11 - Potencial para a geração de energia como fonte a casca de arroz nas regiões do Brasil.

Região	Produção (t) safra 10/11	Potencial (MW.ano <sup>-1</sup> )
Norte	1.025.600	21,82
Nordeste	1.096.100	23,32
Centro Oeste	868.800	18,49
Sudeste	186.400	3,97
Sul	9.451.300	201,10
Brasil	12.628.200	268,69

Fonte: HENRIQUE, S.D.

O Brasil possui oito usinas a partir da fonte da casca de arroz e gera 32,61 MW, valor que representa 0,03% do total da geração de energia no país. A produção orizícola no Brasil é de aproximadamente 12.628,2 toneladas e tem mostrado um grande crescimento em algumas regiões, como nas Regiões Nordeste e Sul. A Figura 17 demonstra o potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa da casca de arroz (HENRIQUE, S.D.).

Figura 17 - Potencial de geração de energia elétrica a partir da casca de arroz.



Fonte: ANEEL, 2005.

### 3.7.2.3 Capim elefante

O capim elefante é uma espécie gramínea triploide, sua origem é africana e foi inserida no Brasil por volta da década de 50. Possui um grande número de variedades ou ecótipos. Por possuir um alto conteúdo de fibras que não são digestíveis e lignina, produz uma matéria seca e com uma baixa digestibilidade. Para sua produção é necessário uma alta fertilidade, possui uma sensibilidade ao frio e ao fogo e não é germinado em solos úmidos (VIEIRA, 2017).

O capim elefante é geralmente empregado como fonte de alimento para a produção de gado. Devido a algumas características tem sido estudado como fonte energética (VIEIRA, 2017).

Para a produção de biomassa devem ser realizadas algumas análises, como: análise química imediata, identificação do teor de cinzas, voláteis e carbono fixo. A

Tabela 12 descreve os resultados dos testes realizados do carvão de capim elefante, testes de análise química imediata, resistência mecânica e PCI (VIEIRA, 2017).

Tabela 12 - Valores de análise de química imediata, resistência mecânica e poder calorífico do carvão de capim elefante.

Variáveis	Valor
<b>Análise química imediata</b>	
Teor de cinzas	13,82%
Teor de voláteis	21,18%
Teor de carbono fixo	65,00%
<b>Resistência mecânica</b>	
Tensão de ruptura	16,21 kg.f.cm <sup>-2</sup>
<b>PCI</b>	
PCI	5924,16 kcal.kg <sup>-1</sup>

Fonte: VIEIRA, 2017.

De acordo com testes realizados de compressão em carvão originários da madeira de eucalipto, o valor de tensão de ruptura foi de 20,9 kgf.cm<sup>-1</sup> com temperaturas de carbonização no valor de 500°C, valor baixo para aplicações em processos da indústria (VIEIRA, 2017).

De acordo com a literatura valores de poder calorífico de carvões de origem de eucalipto estão em torno de 7.000 kcal.kg<sup>-1</sup>, valor superior ao encontrado no teste de capim elefante (VIEIRA, 2017).

O carvão pode ser utilizado como fins energéticos para diferentes aplicações como em churrasqueiras, em processos siderúrgicos em conjunto ao coque, porém devido a algumas limitações é necessário realizar melhorias para ser aplicado em processos industriais (VIEIRA, 2017).

#### **3.7.2.4 Milho**

O milho é uma espécie gramínea originário da América Central. O método de colheita do milho é realizado por máquinas, em que o milho é colhido e a mesma máquina realiza a separação, aproveitando o grão que fica armazenado na própria máquina e descartando alguns materiais como as folhas, palha, caule, e o sabugo. Uma prática não eficiente, pois descarta uma grande parte do material, vulgarmente chamada de palhada, processo que ocorre em toda grande produção de milho no Brasil. Na indústria de produção de milho verde, os equipamentos utilizados na colheita favorece a espiga do milho, nesse processo mantém a palha e o sabugo, descarta apenas o caule, talos e as folhas. As folhas, palha, caule, e o sabugo podem ser empregados como biomassa para fornecer energia em uma central termelétrica na própria indústria (CARDOSO, 2012).

Pesquisas realizadas no ano de 2009/2010 constata que nesse período no Brasil foram produzidas cerca de 53,2 milhões de toneladas de milho. Em cada tonelada da produção de milho é gerado cerca de 2,3 toneladas de palha de milho que equivale a 15% da unidade (CARDOSO, 2012).

Em alguns países da Europa são empregues métodos de colheita em que favorece o grão e excluem os resíduos em locais específicos ou os armazenam em um período temporário na própria máquina (CARDOSO, 2012).

#### **3.7.2.5 Soja**

Assim como no processo da colheita do milho na colheita da soja também são gerados resíduos. Os resíduos são separados do grão e descartados na lavoura. Possuindo um alto custo na sua produção por ser necessário realizar o recolhimento, a compactação e o transporte (CARDOSO, 2012).

O grão de soja é muito empregue como matéria prima para a produção de energia elétrica no Brasil, transformado em biocombustível. Também muito empregue na produção de farelo, e produção de óleo para a alimentação humana (CARDOSO, 2012).

A produção da safra de 2009/2010 no Brasil foi de 68,7 milhões de toneladas de soja. Em cada tonelada produzida de soja é gerada cerca de 2,5 toneladas de palha de soja em torno de 15% da unidade. Com isso, a produção da safra de

2009/2010 no Brasil gerou 171,75 milhões de toneladas de palha de soja (CARDOSO, 2012).

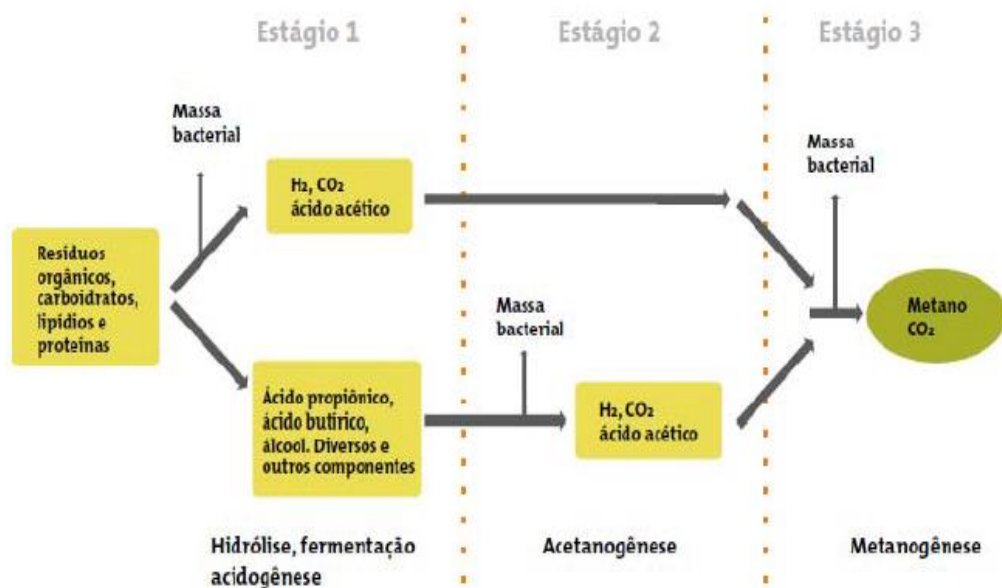
### **3.7.3 Biomassas a partir de resíduos urbanos e industriais**

Resíduos sólidos e líquidos possuem um alto potencial para serem utilizados como fonte energética. Materiais de origem doméstica, residencial, comercial, industrial, setores que descartam materiais diversos no lixo, tais como: papéis, plásticos, vidros, metais, madeira, matéria orgânica, entre outros, podem ser empregados para uso energético no processo de combustão direta e gaseificação anaeróbica. Materiais orgânicos podem ser utilizados na digestão anaeróbica e na produção de gás, através do método via biológica. Também estão presentes nessa classificação resíduos industriais, agroindustriais e de produção animal (CARDOSO, 2012).

Os efluentes líquidos após o tratamento geram uma massa orgânica, conhecido como lodo, procedente das estações de tratamento do esgoto. O lodo possui um alto potencial para ser usado como fonte energética, e tem sido bastante estudado nos últimos anos (CARDOSO, 2012).

A conversão dos resíduos urbanos e industriais pode ser empregues por meio alguns sistemas tecnológicos, dentre eles o biodigestor se apresenta um sistema eficiente por possuir diversas vantagens. O biodigestor é um sistema que promove ótimas condições para que bactérias consigam se predominar nesse ambiente de modo acelerado (CARDOSO, 2012). Nesse processo é gerado um gás com os seguintes valores: metano ( $\text{CH}_4$ ) com 60% a 70%, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) com 30% a 40% e em uma menor proporção o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), o hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). A Figura 18 descreve as etapas da produção de biogás (CARDOSO, 2012).

Figura 18 - Fases da produção de biogás.



Fonte: CARDOSO, 2012.

### 3.7.4 Café

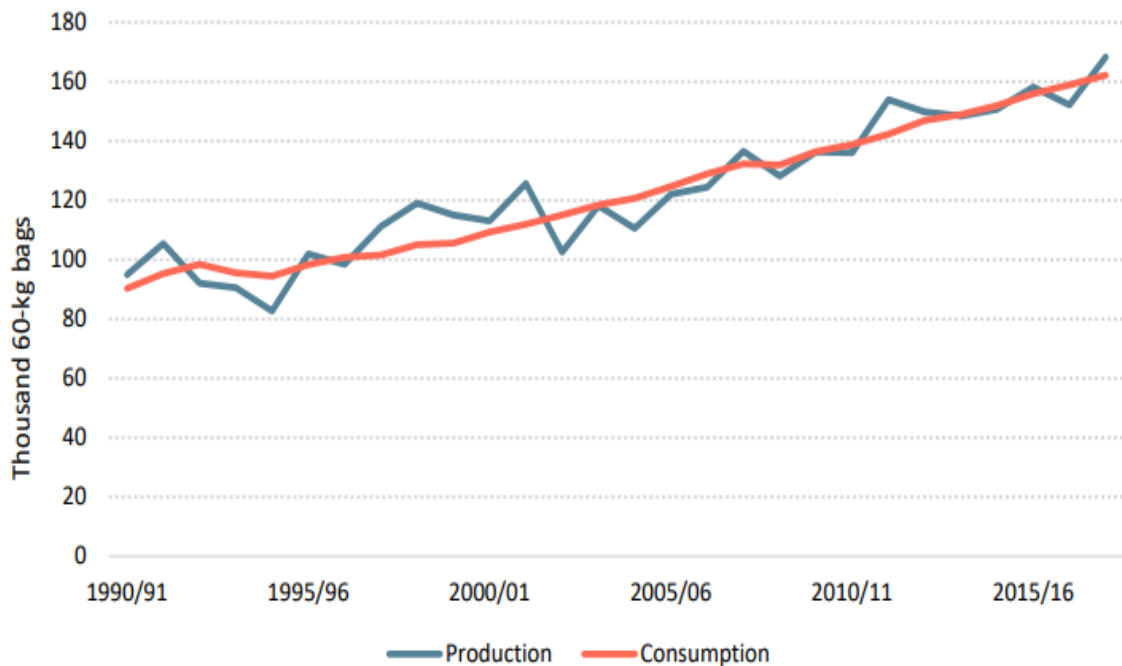
O café é originário da Etiópia, país localizado no continente Africano, e foi difundido no mundo por meio do continente Europeu. O processo de torrefação do grão foi criado no século XIV e por volta do ano de 1.450 se popularizou o costume de tomar café (ABIC, 2008).

O café chegou ao Brasil por volta do ano de 1.727 pelo português Francisco de Mello Palheta. Foi cultivado inicialmente no estado do Pará, e no ano de 1.781 começou a ser inserida no Rio de Janeiro e assim iniciando uma nova etapa da economia no país. O café auxiliou no desenvolvimento do Brasil, devido ao crescente desenvolvimento da produção de café no país foi necessária à construção de estradas de ferro no estado de São Paulo na época, construídas entre os anos de 1.830 e 1.840, houve também uma grande imigração de europeus nesse período de tempo, e o deslocamento o centro político presente no Nordeste para o Sudeste do Brasil (ABIC, 2018).

### 3.7.4.1 Produção e consumo café no Brasil e no mundo

Segundo a Organização Internacional do Café (OIC) (2018), o consumo mundial de café entre o ano de 2017 e 2018 foi de 162,116 milhões de sacas de 60 kg, valores que representa um crescimento acima de 2% comparado ao ano anterior. No ano de 1990 o volume do consumo da bebida era de aproximadamente de 90,28 milhões de sacas, e obteve uma taxa de crescimento mundial de 2% ao ano, comparando esse volume com os valores atuais, podemos estimar que houve um aumento próximo de 80% do consumo. A Figura 19 aponta a produção e o consumo mundial de café nos últimos anos (EMBRAPA, 2018).

Figura 19 - Produção e consumo mundial de café



Fonte: OIC, 2018.

Dentre os principais países produtores de café o Brasil ocupa a posição em primeiro lugar, com 58 milhões de sacas, o que corresponde a 36% do total produzido, logo após segue o Vietnã com 29,5 milhões de sacas produzidos, Colômbia com 14 milhões de sacas, Indonésia com 12 milhões de sacas, Honduras com 8,3 milhões de

sacas e Etiópia com 7,7 milhões de sacas (EMBRAPA, 2018). A Tabela 13 detalha a produção mundial de café no período entre 2004 e 2017.

Tabela 13 - Produção mundial de café (em milhares de sacas de 60kg).

Maiores Produtores	2014	2015	2016	2017	%mudança 2016-2017
África	15.942	15.783	16.748	17.629	5,3%
Ásia e Oceania	45.478	49.538	44.913	48.439	7,9%
México e América Central	17.188	17.237	20.485	21.924	7,0%
América do sul	69.951	71.003	76.902	70.569	-8,2%
Total	148.559	153.561	159.047	158.560	-0,3%

Fonte: OIC, 2018.

A maior taxa de consumo foi registrada na Europa que apresentou um volume perto de 52.322 milhões de sacas, com um aumento de 0,5% comparado ao ano anterior, como apontado na Tabela 14 (OIC, 2018).

Tabela 14 - Consumo mundial de café (em milhares de sacas de 60kg).

Consumidores	2014	2015	2016	2017	%mudança 2016-2017
África	10.710	10.927	11.174	11.356	1,6%
Ásia e Oceania	32.641	33.628	34.745	35.800	3,0%
México e América Central	5.236	5.301	5.230	5.319	1,7%
Europa	51.043	51.829	52.070	52.322	0,5%
América do Norte	27.363	28.934	29.564	30.344	2,6%
América do Sul	24.960	25.256	26.119	26.974	3,3%
Total	151.954	155.876	158.901	162.116	2,0%

Fonte: OIC, 2018.

Estima-se que em torno de 95% do café consumido são originários de duas espécies, o *Coffea arábica* e o *Coffea robusta*. Espécies de café que são encontradas em alguns países, como na Colômbia, Costa Rica, Arábia Saudita, Índia, Etiópia, Angola e no Brasil (MARTINS, 2018).

O Brasil ocupa a posição de segundo maior país dependente do consumo de café do mundo, no último ano apresentaram um consumo de 20,5 milhões de sacas perdendo apenas para os Estados Unidos, que apresentaram um consumo de 24 milhões de sacas ao ano (CECAFE, 2018).

Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC, 2018) expectativas apontam um crescimento em 2018, atingindo uma produção de 22,7 milhões de sacas. Estima-se que o pó de café esteja presente em 98,2% dos lares, que compram em média 10,3 kg/ano.

### 3.7.4.2 Carvão vegetal de coffeea arábica

Segundo LEITE *et al* (2015) que realizou um trabalho com o intuito de avaliar a qualidade do carvão vegetal de coffeea arábica e da madeira pra uso energético. Adotou três métodos de cultivo do café no sul de Minas Gerais, sistema natural agroflorestal, orgânico e convencional, pela sua composição química, e foram cultivadas em dois locais, Mundo Novo e Catuaí, conforme a Tabela 15 (LEITE *et al*, 2015).

Tabela 15 - Métodos de cultivar.

Sistema de Cultivo	Local do Cultivo	Sistema/Cultivar
Natural	Mundo Novo	NtMN
Natural	Catuaí	NtCat
Convencional	Mundo Novo	ConvMn
Convencional	Catuaí	ConvCat
Orgânico	Mundo Novo	OrgMN
Orgânico	Catuaí	OrgCat

Fonte: LEITE *et al*, 2015.

Realizado as análises constataram os componentes químicos elementares do carvão vegetal de coffeea arábica descrito na Tabela 16 (LEITE *et al*, 2015).

Tabela 16 - Componentes químicos elementares do carvão vegetal de Coffea arábica, teores de cinzas e as relações atômicas estabelecidas.

Sistema/ Cultivar	Análise elementar (% em base seca)					Cinzas*	Relação atômica		
	N	C	H	S	O		%	N/C	H/C
ConvMN	1,39	83,04	3,26	0,01	9,84	2,46	0,02	0,04	0,12
ConvC	1,30	83,45	3,17	0,02	9,30	2,77	0,02	0,04	0,11
OrgMN	1,14	83,34	3,18	0,01	10,14	2,19	0,01	0,04	0,12
OrgC	1,14	82,77	3,16	0,01	9,03	3,89	0,01	0,04	0,11
NtMN	0,86	82,22	2,67	0,02	11,26	2,98	0,02	0,04	0,14
NtC	1,29	77,44	3,16	0,01	10,13	3,19	0,01	0,04	0,12

Fonte: LEITE *et al*, 2015.

É importante que haja uma baixa presença de elementos como o nitrogênio e o enxofre, pois no processo de combustão liberam gases como  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ , esses elementos causam a corrosão de equipamentos e a auxiliam na formação da chuva ácida (LEITE *et al*, 2015).

### 3.8 Produção de Energia Elétrica a partir da Biomassa

#### 3.8.1 Ciclos térmicos a vapor

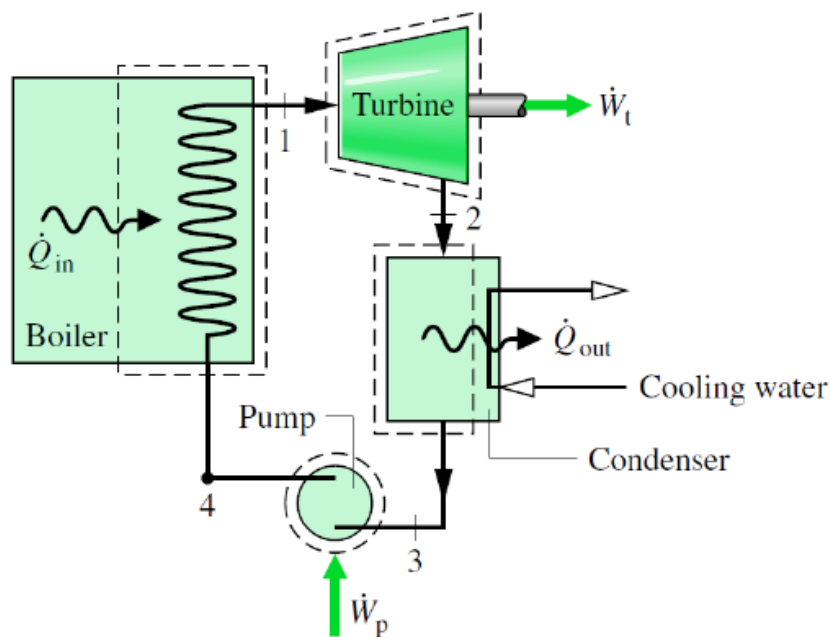
Equipamentos térmicos a vapor aplicam à energia gerada de um combustível, como a biomassa no processo de combustão para um fluido, para produzir vapor e transformar a energia do fluido em trabalho mecânico ou em calor para algum processo secundário de aquecimento (STROBEL, S.D.).

Pode ser empregue qualquer fluido que seja capaz de alcançar um senário de vapor superaquecido na saída da caldeira, geralmente é empregada a água por ser um fluido com alta qualidade, dispõe de um alto calor específico, alto calor latente de vaporização, um recurso abundante e baixo volume de resíduos sólidos de evaporação, acarretando em poucos problemas na caldeira e tubulações (STROBEL, S.D.).

### 3.8.1.1 Esquema de uma unidade de potência a vapor

Funcionamento do equipamento do Ciclo de Rankine, uma versão mais simplificada, ela é formada por quatro equipamentos básicos: bomba hidráulica (pump) e a turbina a vapor (turbine), separam o sistema em áreas de alta pressão e áreas de baixa pressão, a caldeira (boiler) e o condensador de vapor (condenser), são empregados para gerar e remover a energia do processo na forma de calor. A Figura 20 aponta a estrutura e os mecanismos que compreende um processo de geração de potência, a turbina aciona o gerador elétrico que converte energia mecânica em eletricidade (STROBEL, S.D.).

Figura 20 - Planta geradora de potência simples a vapor.



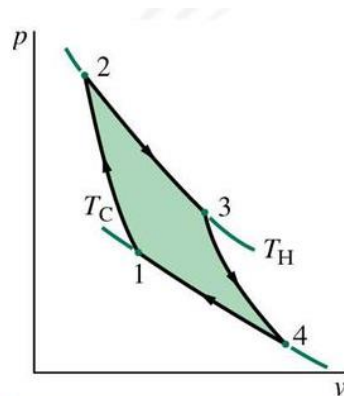
Fonte: MORAN, 2013.

### 3.8.1.2 Ciclo de potência de Carnot

O ciclo de potência a vapor de Carnot, possui dois reservatórios, temperaturas  $T_H$  e  $T_C$ , em um ponto isolado, nesse ponto isolado o sistema se encontra no estado 1, a temperatura  $T_C$ . O ciclo possui quatro processos: Processo 1-2, o gás sofre uma

intensa compressão até o estado 2, nesse estado a temperatura é  $T_H$ . Processo 2-3: em contato com o reservatório a  $T_H$  o gás se expande conforme recebe energia  $Q_H$ . Processo 3-4: O grupo é disposto acima do apoio isolado e o gás continua expandindo. Processo 4-1: O grupo é posicionado em ligação com o reservatório a  $T_C$ . O gás é comprimido até retornar a sua condição inicial no mesmo momento em que descarrega a energia  $Q_C$  para o tanque frio pelo processo de transferência de calor (MORAN, 2013). A Figura 21 descreve o diagrama p-v de um ciclo de potência a vapor de Carnot.

Figura 21 - Diagrama p-v para um ciclo de potência de Carnot realizado por um gás.

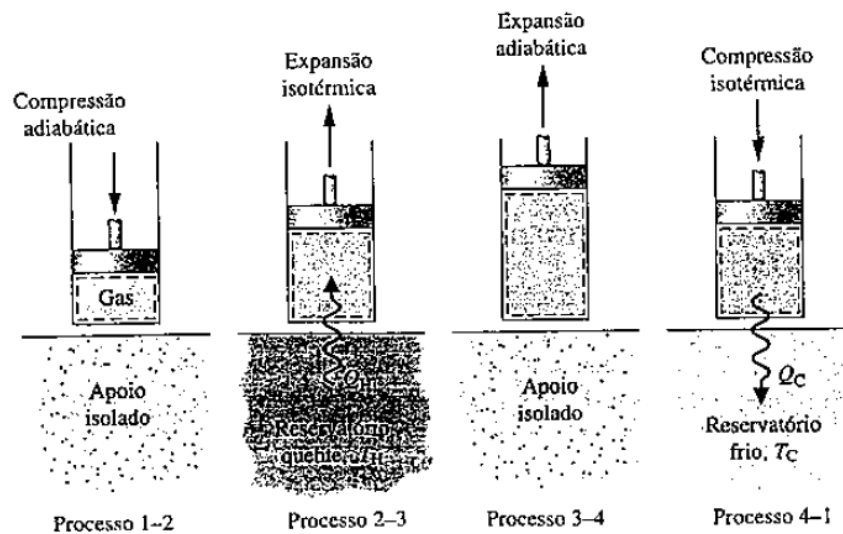


Fonte: MORAN, 2013.

A água presente na caldeira sofre uma alteração de estado líquido para o estado de vapor, em temperatura constante  $T_H$  devido da transmissão de calor. Na mudança de estado de temperatura, a temperatura e a pressão permanece constante. O vapor d'água que sai da caldeira se amplia adiabaticamente por entre a turbina e gerando trabalho. A temperatura decresce até chegar a temperatura do reservatório frio,  $T_C$ , a medida que ocorre uma diminuição da pressão. De modo que o vapor d'água passa por entre o condensador, acontece uma transferência de calor para o tanque frio, e uma parte do vapor d'água se condensa a uma temperatura constante  $T_C$ . De modo que a temperatura se mantém constante, a pressão também se mantém constante durante o tempo em que a água atravessa por entre o condensador. Outro componente importante no processo é a bomba, ou compressor, que possui uma mistura bifásica de líquido-vapor do condensador e a retorna ao estado do ponto de início da caldeira. Ao longo desse processo é necessária a alimentação de trabalho

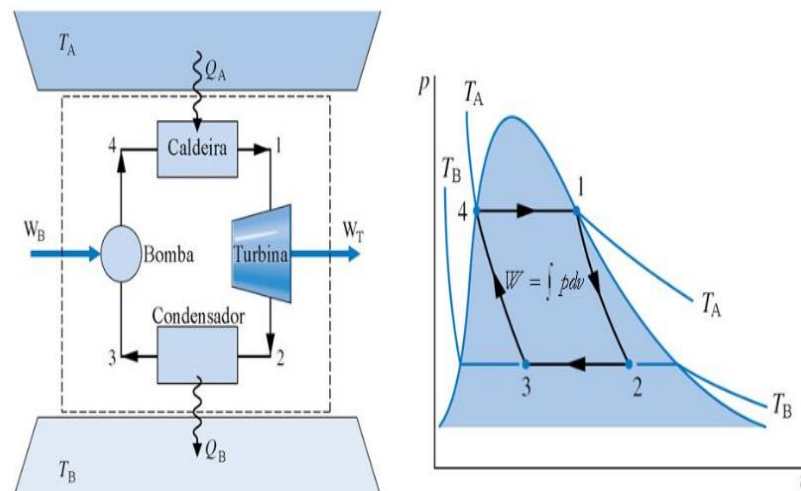
para aumentar a pressão, decorrente disso ocorre o aumento da temperatura valor de TC para TH. A Figura 22 detalha como o ciclo de potência de Carnot é executado. A Figura 23 demonstra o ciclo de potência a vapor de Carnot (MORAN, 2013).

Figura 22 - Ciclo de potência de Carnot executado por um gás em um conjunto cilindro-pistão.



Fonte: MORAN, 2013.

Figura 23 - Ciclo de potência a vapor de Carnot.



Fonte: MORAN, 2013.

## 3.8.2 Sistema gaseificador

### 3.8.2.1 Motor de combustão interna

A maior parte dos processos de produção de energia utiliza a matéria prima da biomassa gaseificada a partir de motores de combustão interna alternativos. Os processos englobam motores a gasolina, a gás e a diesel. A Europa e os Estados Unidos possuem centenas de gaseificadores de biomassa em pequena escala (LORA *et al*, 2005).

Para aplicar o gás de biomassa em motores movidos a gasolina não é preciso realizar modificações no motor, sendo possível funcionar apenas com o gás. Com isso, o motivo de se misturar gás-ar geralmente empregado é de 1:1, sendo possível incluir diretamente no carburador. Porém, não é possível operar os motores a diesel somente com a utilização do gás de biomassa, entretanto o gás é capaz de substituir cerca de 90% do combustível, apenas necessário realizar a partida com o diesel (LORA *et al*, 2005).

Possui uma menor potência e baixa eficiência dos motores no decorrer de sua operação com o gás de biomassa se comparado com os combustíveis fósseis. Um motor a diesel de 15 kW registrou uma eficiência máxima com a mistura de 14,71%, o combustível a diesel puro apresentou um valor de 22,41%. A maior potência com o emprego da mistura foi de 12 kW (LORA *et al*, 2005).

Seguem alguns projetos que apresentaram êxito no seu processo:

- Gaseificador de topo aberto, um projeto do Indaian Institute of Science, possui uma eficiência perto de 80%. O poder calorífico apresenta valores de  $4,7 \text{ MJ.N}^{-1}$  por metro cúbico (LORA *et al*, 2005).
- Projeto GASEIFAMAZ, produzido em parceria com algumas empresas Brasileiras, para fornecimento de energia elétrica sustentável para comunidades isoladas na região da Amazônia. Equipamento de gaseificação de 20 kW. Com PCS de  $5,7 \text{ MJ.N}^{-1}$  por metro cúbico (LORA *et al*, 2005).
- Planta de gaseificação em Gussing, Austria, possui um equipamento gaseificador de leito fluidizado que possui duas zonas, esse equipamento emprega vapor como agente de gaseificação, e possui um motor a gás

Jenbacher J620 GS. Com PCS do gás de  $12 \text{ MJ.N}^{-1}$  por metro cúbico e apresenta uma eficiência por volta de 30% (LORA *et al*, 2005).

Alguns dados resultantes do monitoramento realizado constataram que o consumo em média de biomassa para serem empregues nos gaseificadores em funcionamento é de 1,1 a 1,4 kg/kWh, para os gaseificadores que empregam madeira, 0,9 kg/kWh, para gaseificadores movidos a carvão vegetal, 2,0 a 3,5 kg/kWh para gaseificadores a partir de casca de arroz. A eficiência do gaseificador a motor de combustão é de 13% (LORA *et al*, 2005).

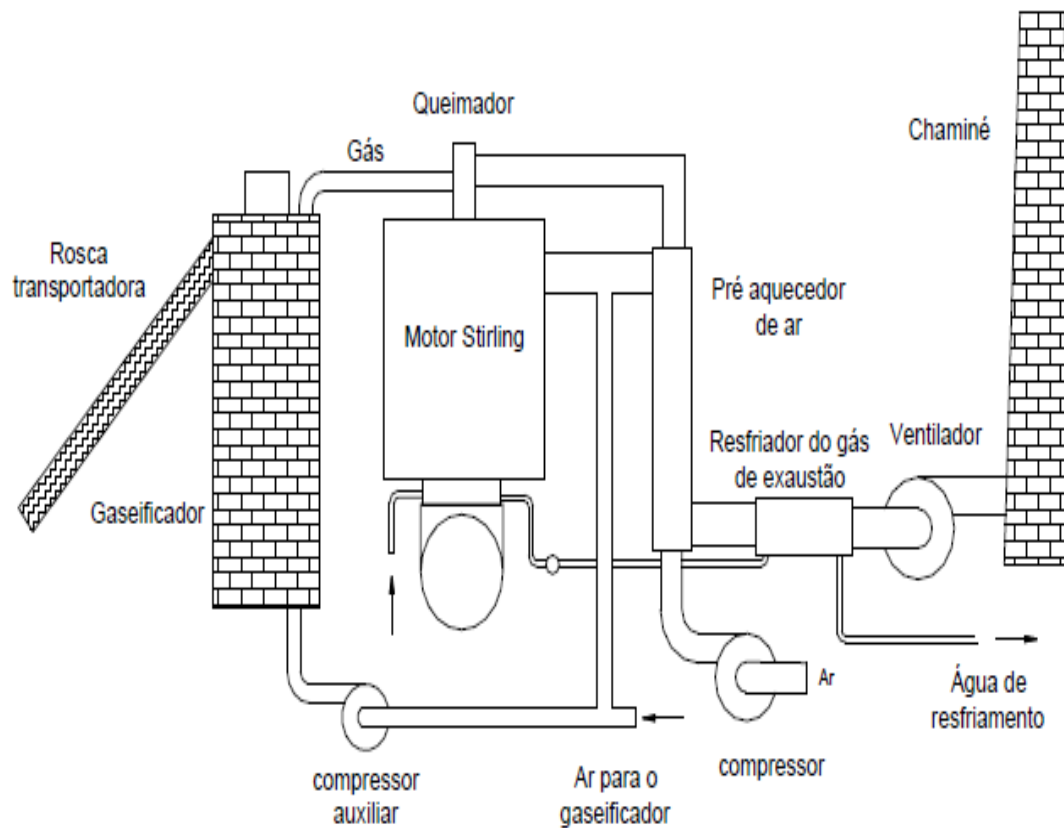
### **3.8.2.2 Motor stirling**

O motor stirling compõe-se de um motor alternativo a pistão conduzido por uma fonte de calor e de uma forma similar a ciclos de vapor, emprega um processo de expansão de gases para resultar em potência mecânica, a eficiência do motor é resultado da temperatura do gás (SALES, 2006).

O motor stirling funciona com qualquer fonte que é capaz de produzir calor para seu acionamento, tanto quanto combustíveis fósseis e renováveis, não é necessário o resfriamento do gás e nem um sistema de limpeza (SALES, 2006).

O acoplamento do sistema de gaseificador com o motor stirling apresenta uma eficiência de 17,7%, uma parte da energia gerada é perdida no processo de combustão e na transferência de calor, a eficiência elétrica do motor stirling é de 30,6%, (SALES, 2006). A Figura 24 descreve o sistema gaseificador acoplado a um motor stirling.

Figura 24 - Sistema gaseificador acoplado a motor Stirling.



Fonte: SALES, 2006.

### 3.8.2.3 Turbinas a gás

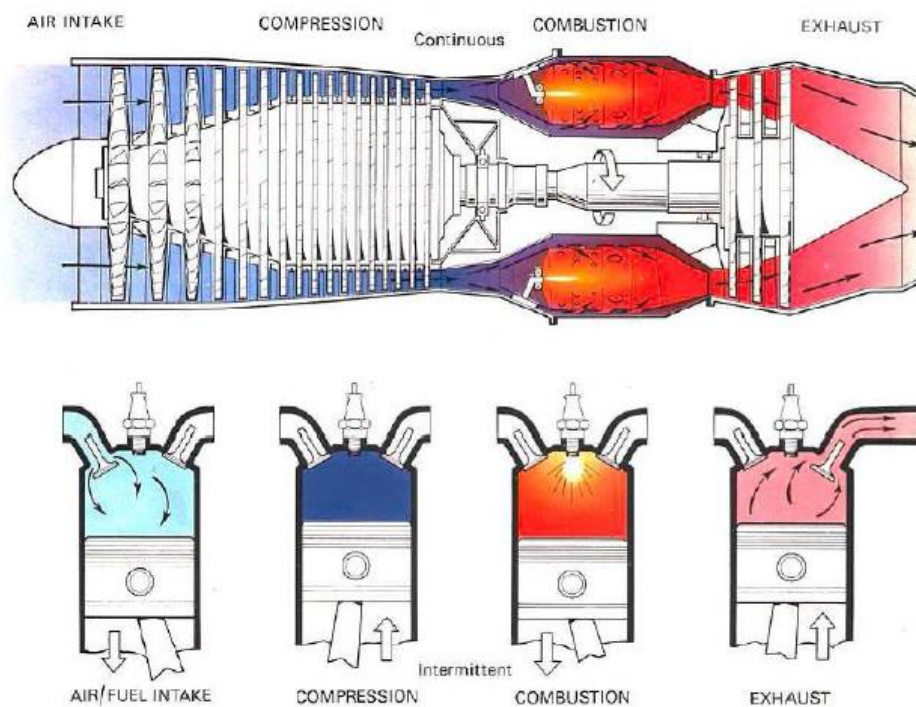
Nas turbinas a gás de circuito aberto a combustão ocorre dentro da máquina e de acordo com as condições em que é verificado podemos distinguir as turbinas de explosão e turbinas de combustão, porém, existem outros tipos de turbinas a gás, conhecidas como turbinas de escape, construídos para recuperar a energia contida nos gases de exaustão de uma casa pressurizada, ou de um motor alternativo (DÍEZ, S.D.).

Uma turbina de explosão possui um ciclo termodinâmico ideal tipo Otto para expansão completa, ou ciclo de Atkinson, consiste em um compressor, uma ou mais câmaras de combustão e a própria turbina (DÍEZ, S.D.). O compressor carrega as câmaras sucessivamente com ar, sendo controlado pelo mecanismo da válvula de admissão. Quando uma câmara é carregada ela fecha a válvula de admissão e o combustível que é introduzido queima com a explosão pela ação de uma faísca, produzindo um aumento repentino na pressão. A válvula de escape abre e os gases

saem em alta velocidade, atuando diretamente nas pás da turbina, a pressão diminui e quando o ar atmosférico é alcançado, a válvula de escape fecha e a válvula de entrada abre, enchendo novamente a câmara de ar (DÍEZ, S.D.). Geralmente estão disponíveis várias câmaras em um círculo concêntrico com o eixo da turbina, organizando o funcionamento das válvulas de modo que sejam descarregadas sucessivamente, sujeitando ao impulsor a uma série de impulsos que causam seu movimento (DÍEZ, S.D.).

O desempenho das turbinas de gás está longe de apresentarem valores iguais ao de motores alternativos e até mesmo das turbinas a vapor, isso ocorre devido à dificuldade em construir compressores rotativos que permitam atingir taxas de compressão. Possui também uma dificuldade em obter materiais que suportem altas temperaturas, e ao mesmo tempo mantendo as suas características técnicas. A Figura 25 demonstra o funcionamento de uma turbina a gás (DÍEZ, S.D.).

Figura 25 - Funcionamento de uma turbina a gás.

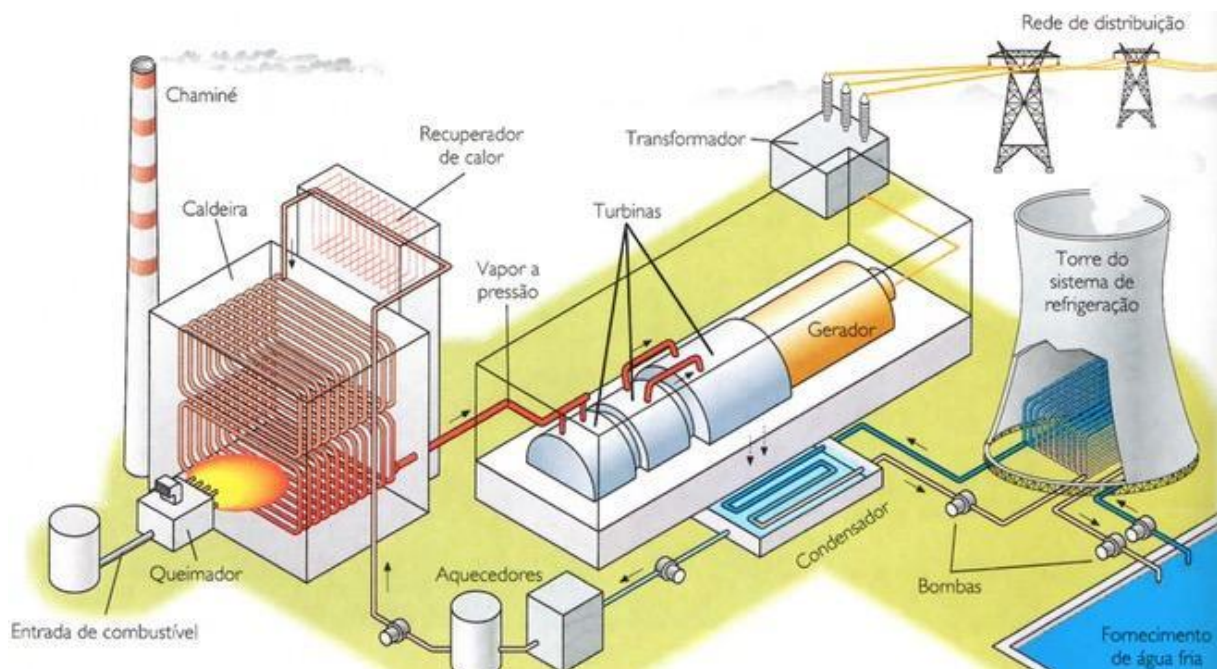


Fonte: DÍEZ, S.D.

### 3.8.3 Termelétricas

Uma usina termelétrica tem a função de transformar a energia química em forma de calor, através da queima de fontes energéticas de origem fósseis ou biomassa e através de outras fontes geradoras de calor. A radiação térmica emitida na queima dos combustíveis aquece as caldeiras com água e produz vapor em uma alta pressão, com isso, o vapor com pressão e temperatura elevada, se expande, e com isso move as pás da turbina assim gerando energia elétrica. A Figura 26 descreve o sistema de funcionamento de uma usina termelétrica (LIMA & SOUZA, 2015).

Figura 26 - Esquema de funcionamento de uma usina termelétrica.



Fonte: LIMA & SOUZA, 2015.

O vapor após ter passado pelas turbinas é direcionado ao condensador onde é resfriado e transformado em água líquida, após esse processo é reenviado para a caldeira. Esse calor pode ser resfriado utilizando a água de um rio, lago ou mar, porem esse método causa a degradação ao meio ambiente devido ao aquecimento das águas do local. Outro processo de resfriamento seria o armazenamento da água em torres. No final do sistema o vapor de água é reenviado a atmosfera, com isso, há possibilidades de alterar o regime de chuvas da região (LIMA & SOUZA, 2015).

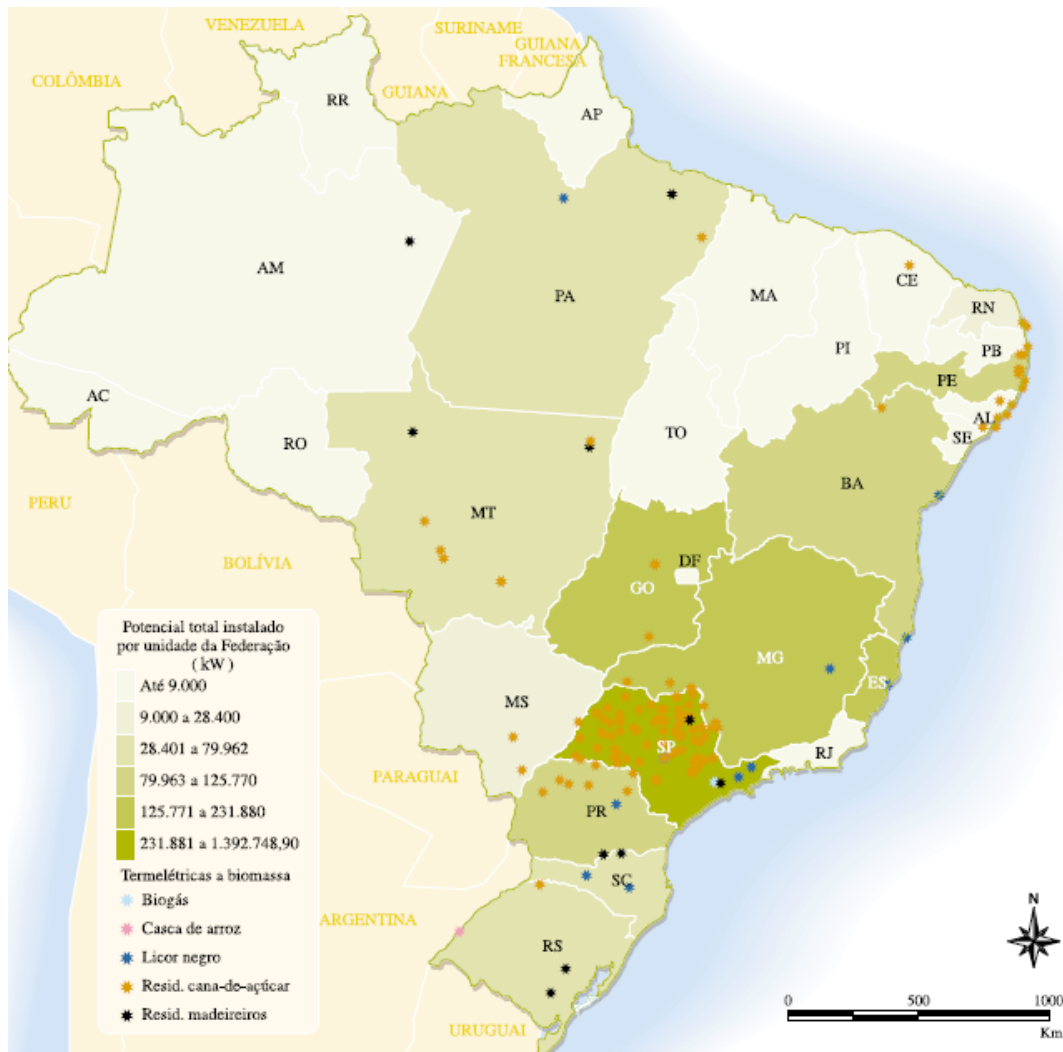
As termelétricas comparadas com as usinas hidrelétricas apresentam algumas vantagens, como seu processo de construção é mais rápido, possui uma maior disponibilidade de combustíveis, e o seu valor de implantação é menor. Ainda as termelétricas podem ser construídas em locais vizinhos de centro urbanos, sintetizando as linhas de transmissões e com isso diminuindo o desperdício de energia (LIMA & SOUZA, 2015).

Com o intuito de minimizar a degradação do meio ambiente uma central termelétrica possui uma chaminé com uma altura elevada, algumas chegando até 300 metros e alguns precipitadores retêm as cinzas e outros compostos voláteis. Alguns projetos recuperam as cinzas para realizar o aproveitamento em processos metalúrgicos e na construção civil (LIMA & SOUZA, 2015).

Gases gerados no processo de combustão pela queima de combustíveis fósseis contribuem com a degradação do meio ambiente, auxiliando no aquecimento global e nas chuvas ácidas (LIMA & SOUZA, 2015).

A biomassa pode ser empregada para diversos objetivos além da produção de energia elétrica, como na recuperação do calor residual para a climatização de ambientes, aquecimento de fluídos, secagem de produtos agrícolas, produção de vapor, entre outros. A Figura 27 aponta as principais usinas termelétricas em funcionamento a partir da biomassa e potência total instalada por unidade por estado e sua potência de funcionamento (ANEEL, 2005).

Figura 27 - Usinas termelétricas a biomassa em operação e potência instalada por estado, em setembro de 2003.



Fonte: ANEEL, 2005.

### 3.8.4 Geração de energia elétrica em pequena escala

Há uma grande possibilidade da utilização da biomassa para a produção de energia elétrica em pequena escala. Comumente empregada em vilarejos e comunidades totalmente afastadas que não possuem ligação com o sistema integrado nacional (SIM) ou com a rede convencional. São locais em que é difícil a implantação e manutenção da geração de energia elétrica, os custos das concessionárias para operar e manter tais sistemas é elevado comparado aos habituais, normalmente

nessas circunstâncias as medidas adotadas são as instalações de grupos geradores a diesel ou a ampliação da rede elétrica existente (CARDOSO, 2012).

Pode ser utilizado nessas comunidades como uma alternativa o emprego da biomassa como uma possível alternativa viável para atender a demanda de energia elétrica dessas comunidades (CARDOSO, 2012). Para produção de energia elétrica em pequena escala (abaixo de 1 MW), pode ser empregue sistemas a vapor ou gaseificadores acoplados a motores a diesel ou Otto (FARIAS, 2011). A combustão direta e a gaseificação são tecnologias muito empregadas nos últimos anos. O processo da combustão direta da biomassa é empregado através de equipamentos alternativos de combustão externa, denominados como máquinas tipo stirling, porém a maior desvantagem é sua baixa eficiência (entre 5% a 10%). Com isso pode apresentar um rendimento final (térmico-elétrico) em torno de 30% (CARDOSO, 2012).

Segue descritos alguns conceitos relacionados aos gaseificadores comerciais fabricados nos últimos anos:

- Os valores de eficiência de conversão de biomassa sólida para o gás estão em torno de 85% considerando os valores da madeira e de 65% para a casca de arroz;
- Um quilo de biomassa sólida produz cerca de 2,5 a 3,0 metros cúbicos de gás e possui um poder calorífico entre 1.000 e 1.100 Kcal por metro cúbico;
- Um gaseificador operando a 100% a gás possui um consumo por volta de 1,5 quilos de biomassa por kWh de energia elétrica;
- A sua queima é bastante limpa devido ao seu alto teor de hidrogênio composto no gás gerado (CARDOSO, 2012).

A aplicação da tecnologia de gaseificação da biomassa se mostra bastante competitiva para ser empregue em comunidades isoladas quando comparado a pequenos grupos geradores a diesel pelo fato de possuírem um baixo elemento de carga e um custo elevado de transporte (CARDOSO, 2012).

Estas tecnologias descritas podem ser empregues em residências interligadas ao SIM podendo realizar a redução do consumo de energia elétrica oriunda de outras fontes. Porém a utilização dessa tecnologia só se mostra competitiva empregada em locais remotos (CARDOSO, 2012).

### 3.8.5 Biorrefinaria

A biorrefinaria é definida como um sistema com diversos processos de conversão de biomassa que ficam instalados lado a lado, com isso, o produto de um processo é empregado como matéria prima para o processo seguinte. Desse modo, este processo pode adquirir vários tipos de biomassa como fonte energética e gerando diferentes produtos (PEREZ *et al* S.D.).

A realização do transporte da biomassa desde sua origem até as biorrefinarias pode se mostrar viável devido a sua utilização reduzir o seu volume com o emprego da densificação da biomassa através de métodos térmicos, como a pirólise e torrefação, ou por meios mecânicos, como a prensa de pistão e prensa parafuso (PEREZ *et al* S.D.).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Classificação da Pesquisa**

A abordagem da metodologia empregada nessa pesquisa é classificada como pesquisa quantitativa, visto que utiliza procedimentos técnicos para quantificar informações para estudo da pesquisa. Quanto à natureza é classificada como pesquisa básica, pois objetiva responder dúvidas e gerar novos conhecimentos, e como pesquisa aplicada, porque objetiva gerar novos métodos e tecnologias para aplicação e solução de problemas.

Em relação aos objetivos pode ser classificada como pesquisa exploratória, pois por meio de estudos e métodos, visa proporcionar informações para o estudo de uma possível matéria prima energética.

A proposta do estudo é analisar a borra do pó de café para avaliar a conversão termoquímica em carvão vegetal para contribuir com a diversificação da matriz energética.

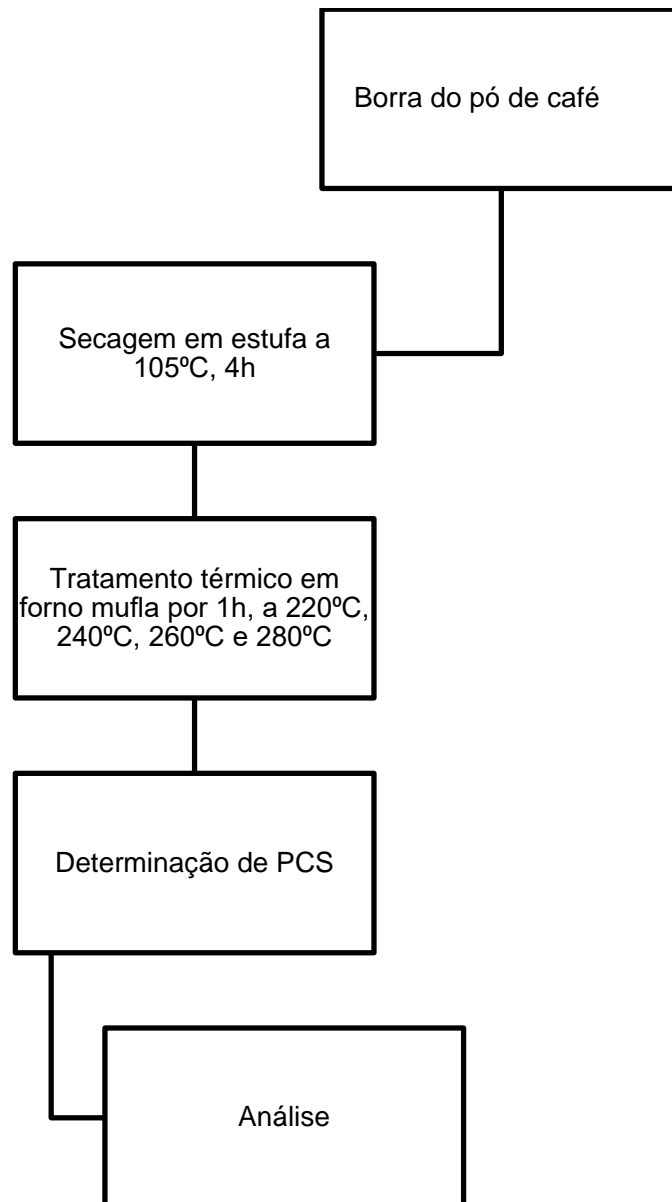
### **4.2 Materiais**

- A borra do pó de café foi obtida por coleta doméstica;
- Estufa;
- Forno tipo mufla;
- Bomba calorimétrica IKA modelo C200.

### **4.3. Métodos**

Os experimentos foram realizados no laboratório de Química do UniFOA (Centro Universitário de Volta Redonda) – Campus Três Poços, e no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Unidade Regional de Cachoeira Paulista (URC). A Figura 28 descreve o fluxograma do desenvolvimento desse trabalho.

Figura 28 - Fluxograma do desenvolvimento deste trabalho.



A borra do pó de café foi colocada na estufa à aproximadamente 105° C por um período de tempo de 1 h e 30 min para remover o restante da umidade. Depois de aquecido esse material se transformou em um pó.

#### 4.4 Tratamento térmico

É necessário realizar o tratamento térmico da matéria prima para aumentar o seu poder calorífico e reduzir a quantidade de material, por eliminar os materiais não energéticos presentes.

O tratamento foi realizado em forno tipo mufla demonstrado na Figura 29, em triplicata, sob 4 diferentes condições de temperatura: 220°C (Amostras A220), 240°C (A240), 260°C (A260) e 280°C (A280). O tempo de tratamento foi de 1 h, tendo início a partir do momento em que o forno atingiu a temperatura desejada.

Figura 29 - Forno tipo mufla.



Fonte: O Autor.

#### 4.5 Determinação de PCS

O PCS foi definido a partir de uma bomba calorimétrica IKA modelo C200 no Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, de Cachoeira Paulista. Esta bomba possibilita medir o calor liberado

do processo de combustão da biomassa na presença de oxigênio. Nessa metodologia, todas as amostras necessitam passar por uma peneira padrão de malha 60 e serem queimadas em atmosfera com oxigênio puro com pressão específica de 3.000 kPa. A Figura 30 exibe o modelo da bomba calorimétrica utilizado na determinação de PCS.

Figura 30 - Bomba calorimétrica IKA modelo C200.



Fonte: BIOVERA, 2018.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Tratamento Térmico

A amostra A220 apresentou uma massa de 5,85g, após o tratamento térmico a massa do material se reduziu a 2,37g, com tratamento térmico houve uma redução da massa em 3,48g. A amostra A240 possui uma massa de 6,30g, após o tratamento térmico apresentou uma massa de 2,78g, com isso com o tratamento térmico houve uma redução da massa da amostra de 3,52g. A amostra A260 apresentou uma massa de 6,40 g, após o tratamento térmico essa massa se reduziu a 2,45g, com isso, com o tratamento térmico houve uma redução da massa de 3,95g. A amostra A280 apresentou uma massa de 5,83g, após o tratamento térmico o material apresentou uma massa de 1,85g, com o tratamento térmico houve uma redução de 3,98g da massa da amostra.

As Figuras 31, 32, 33 e 34 apresentam as amostras após ser realizado o tratamento térmico.

Figura 31 - Amostra A220.



Fonte: O Autor.

Figura 32 - Amostra 240.



Fonte: O Autor.

Figura 33 - Amostra A260.



Fonte: O Autor.

Figura 34 - Amostra A280.

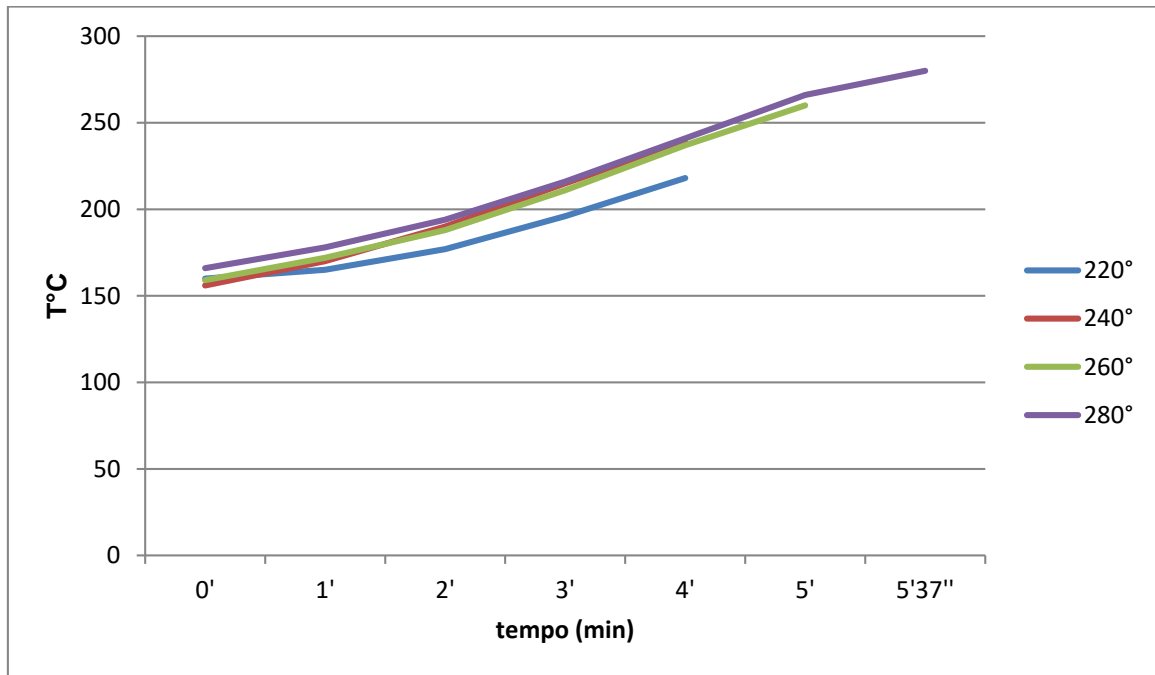


Fonte: O Autor.

## 5.2 Condições de Aquecimento

As condições de aquecimento em cada experimento estão descritas nos Gráficos 13 e 14. O Gráfico 13 descreve o tempo de aquecimento até atingir os valores máximos de 220°C, 240°C, 260° C e 280°C.

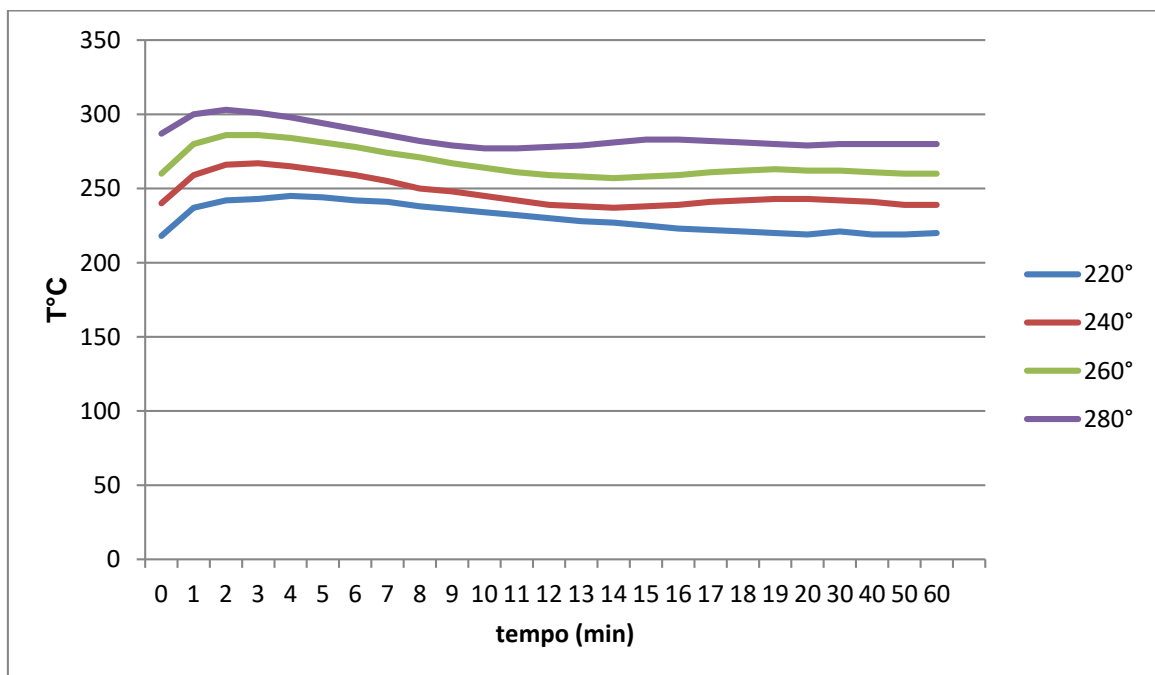
Gráfico 13 – Tempo de aquecimento até atingir os valores máximos nas 4 temperaturas.



Fonte: O Autor.

O Gráfico 14 aponta os valores de aquecimento durante 1h nas 4 temperaturas. Verifica-se um comportamento semelhante para cada caso.

Gráfico 14 - Variação da temperatura durante 1h.



Fonte: O Autor.

### 5.3 PCS

Os resultados obtidos de PCS para cada temperatura estão apresentados na Tabela 17:

Tabela 17 – Volume de material x PCS.

AMOSTRA	PCS kJ.g <sup>-1</sup>	Desvio Padrão	Rendimento	PCS/1 kg de borra	PCS/1 kg de carvão
PURO	15,33	0,04	100%	15,33 MJ (1 kg)	15,33 MJ.kg <sup>-1</sup>
A220	19,47	0,06	49,8%	7,94 MJ (0,50 kg)	15,88 MJ.kg <sup>-1</sup>
A240	21,10	0,06	47,2%	9,96 MJ (0,47kg)	21,19 MJ.kg <sup>-1</sup>
A260	23,51	0,04	41,7%	9,80 MJ (0,42kg)	23,33 MJ.kg <sup>-1</sup>
A280	24,25	0,03	37,3%	9,04 MJ (0,37kg)	24,43 MJ.kg <sup>-1</sup>

Fonte: O Autor.

A amostra da borra do pó de café pura apresentou o valor de PCS de 15,33 KJ.g<sup>-1</sup> ± 0,04 com um rendimento de 100%, com 1kg de borra de café é possível gerar 15,33 MJ. A amostra A220 demonstrou um PCS de 19,47 kJ.g<sup>-1</sup> ± 0,06 com um rendimento de 49,8%, com isso, com 1 kg de borra de pó de café é possível produzir 7,94 MJ, o que representa em 0,50 kg de carvão. A amostra A240 apresentou um PCS de 21,10 KJ.g<sup>-1</sup> ± 0,06 e um rendimento de 47,2%, 1 kg de borra de pó de café é possível produzir 9,96 MJ, o que retrata 0,47 kg de carvão. A amostra A260 apresenta um valor de PCS de 21,10 kJ.g<sup>-1</sup> ± 0,06 com um rendimento de 41,7%, sendo assim, 1 kg de borra de pó de café produz 9,80 MJ, o que equivale a 0,42kg de carvão. A amostra A280 corresponde um PCS de 24,15 kJ.g<sup>-1</sup> ± 0,03 com um rendimento de 37,3%, com isso, 1 kg de borra de pó de café gera 9,04 MJ, que equivale a 0,37kg de carvão.

O tratamento térmico promove uma redução considerável na massa de material, fato que contribui para a logística e distribuição desse produto.

Além disso, verifica-se que ocorre um aumento do PCS do material resultante. Isso ocorre porque o tratamento promove a remoção das frações menos energéticas da biomassa, como as hemiceluloses, os extrativos e as frações amorfas de celulose.

A amostra que forneceu o maior PCS foi a A280 com um valor de 24,43 MJ.kg<sup>-1</sup> de carvão.

A Tabela 18 descreve o PCS das amostras da borra do pó de café após ser realizado o tratamento térmico comparado com as amostras de PCS da casca de arroz e capim elefante apresentadas nesse trabalho

Tabela 18 – Comparação dos resultados com dados da literatura.

Amostras	PCS	Observação	Referências
A220	15,33 kJ.g <sup>-1</sup>	Borra do pó de café após ser realizado o tratamento térmico a 220°C.	Este trabalho.
A240	19,47 kJ.g <sup>-1</sup>	Borra do pó de café após ser realizado o tratamento térmico a 240°C.	Este trabalho.
A260	21,10 kJ.g <sup>-1</sup>	Borra do pó de café após ser realizado o tratamento térmico a 260°C.	Este trabalho.
A280	23,51 kJ.g <sup>-1</sup>	Borra do pó de café após ser realizado o tratamento térmico a 280°C.	Este trabalho.
Casca de arroz	14.168,13 kJ.g <sup>-1</sup>	PCI	HENRIQUE, S.D.
Capim elefante	24.803,27 kJ.g <sup>-1</sup>	PCI	VIEIRA, 2017.

Fonte: O Autor.

## 6. CONCLUSÕES

Os materiais analisados apresentaram um rendimento que variaram de 37,3% a 49,8%. A amostra pura apresentou valores de PCS de  $15,33 \text{ MJ.kg}^{-1}$ , e a amostra A280 atingiu os maiores valores de PCS de  $24,43 \text{ MJ.kg}^{-1}$

Os resultados positivos obtidos do processo de conversão termoquímica da borra do pó de café em carvão vegetal, indicam que é possível realizar a sua utilização para contribuir com a diversificação da matriz energética, colaborando com a redução da dependência dos combustíveis fósseis, consequentemente reduzindo seus impactos ambientais, e assim aumentando o valor agregado a esse material.

## 7. REFERÊNCIAS

ABRIL CULTURA. **A Expansão do Café no Brasil**. Associação Brasileira da Indústria de Café, disponível em: <<http://abic.com.br/o-cafe/historia/a-expansao-do-cafe-no-brasil/>>. Acesso em 26 de setembro de 2018.

Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2º edição. Brasília: ANEEL, 2005.

ANTUNES B, Paulo. Direito Ambiental. 9º edição. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Indicadores da indústria de café 2017. Disponível em: <<http://abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2017/>>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

BARROS D, Talita. **Licor negro**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe35bc5orw.html>>. Acesso em 17 de setembro de 2018.

BENITES M, Vinícius; TEIXEIRA G, Wenceslau; REZENDE E, Maria; PIMENTA S, Alexandre. **Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio**. 2010.

BIOVERA. **BOMBA CALORIMÉTRICA IKA C 200**. BIOVERA. Disponível em: <https://www.biovera.com.br/produtos/bomba-calorimetrica-ika-c-200/>. Acesso em 01/11/2018.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO G. L, João; MIERZWA C, José; BARROS T. L, Mario; SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson. Introdução a engenharia ambiental. 2º edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CARDOSO M, Bruno. **USO DA BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA**. Dissertação. 112p. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2012.

CARVALHO G.B. **Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schum.), cv. Cameroon, em função da abdução nitrogenada e irrigação em região semiárida**. 2014. 179 f. Tese (Doutorado – Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem). Piracicaba, 2014.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. Consumo do café. Disponível em: <<http://www.cecafe.com.br/sobre-o-cafe/consumo/>>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

DÍEZ F, Pedro. **Turbinas de Gás**. Discertação. 20 p. Sem Data.

EMBRAPA. **Produção de café no Brasil**. EMBRAPA, disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34724227/producao-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-36-da-producao-mundial-em-2018>>. Acesso em 21 de outubro de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia 2050**. Janeiro, 2016.

ESTATÍSTICAS SOCIAIS. **IBGE divulga as estimativas de população dos municípios para 2018**. IBGE, disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acesso em 17 de setembro de 2018.

FARIAS M, Leonel; SELLITTO A, Miguel. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Dissertação. Rio dos Sinos, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2011.

FERREIRA H.R, MACHADO G.O, SILVA M.R, VOGEL F.V, HILLIG H. **Análise da qualidade do carvão vegetal proveniente da região sul do Brasil**. Dissertação. 7p. Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Criteria and indicators for sustainable woodfuels**. Itajubá, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The charcoal transition**. Rome, 2017.

FOLADORI, Guillermo. **O CAPITALISMO E A CRISE AMBIENTAL**. Artigo. 9p. Montivideo, 1999.

GENTIL V, Luiz. 202 Perguntas e Respostas Sobre Biocombustíveis. 1º Edição. Brasília: Senac, 2011.

GOLDEMBERGUE, José. **O Estado Atual do Setor Elétrico Brasileiro**. REVISTA USP, São Paulo, n. 104, p. 37-44, janeiro/fevereiro/março. 2015.

GOLDEMBERGUE, José. **Energia e Sustentabilidade**. Revista Cult. e Ext. USP, São Paulo, n.14, p. 33-43, nov. 2015.

GUMANE, Claudio; JUIZO, Francisco; RAMOS, Marcos; AGOSTINHO, Dimas. **Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal**. Dissertação. 7p. Recife, PE. UFRPE, 2017.

HILSDORF J. W, Jorge, BARROS D, Newton, TASSINARI A, Celso, COSTA, Isolda. Química tecnológica. 1º edição. São Paulo: Thomson, 2004.

HINRICHS A.R., Roger, KLEINBACH, Merlin, REIS B, Lineu. Energia e meio ambiente. 4º edição. Norte-Americana. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

KLAUS L, Otávia. **Potencial de aproveitamento de resíduos sólidos urbanos da mesorregião oeste do paraná para geração de energia elétrica**. Dissertação, 110p. Cascavel. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

LORA E. S, Electro; ANDRADE V, Rubenildo; ARADAS E. C, Maria. **Geração Elétrica em Pequena Escala a partir da Gaseificação de Biomassa**. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2005.

LEITE, Edson; PROTÁSIO, Thiago; APUD. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL DE *Coffea arabica* PARA USO BIOENERGÉTICO**. Artigo. 11p. Lavras. UFLA, 2015.

LIMA S, Maria & SOUZA C, Marina. **Uso das Termelétricas no Brasil**. Discertação. Ciência e Natura, vol 37. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

MAGALHÃES, M. A. **Produção caracterização de pellets de capim elefante (*Pennisetum purpureum schum*)**. 2014. 35f. Trabalho (Conclusão de curso-Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

MARTINS L, Ana. **Origem do Café**. Associação Brasileira da Indústria de Café, disponível em: <<http://abic.com.br/o-cafe/historia/origem-do-cafe/>>. Acesso em 26 de setembro de 2018.

MORAN J, Michel; SHAPIRO N, Howard; BOETTNER D, Daisie; BAILEY B, Margaret. *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MOURA P, Valéria; SANTOS S, Claudio; MACEDO R, Humberto. **Aproveitamento energético de biomassa e resíduos**. Dissertação. Palmas. Instituto Federal de educação Ciência e Tecnologia, 2012.

MOURAD L, Animal; AMBROGI, Vinicius; GUERRA M.G, Sinclair. **Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos**. Dissertação. Campinas. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2004.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café**. Agosto 2018.

PEREZ, Garcia, DAS C, kechav, ADAMS T, Thomas. **Conversão Termoquímica de Biomassa em Biorefinarias**. Dissertação. 8 p. Sem Data.

RAMOS C, Cecília; NACHILUK, Katia. **Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016**. Publicação. São Paulo, 2017.

SALES A. V. B, Cristina; ANDRADE V, Rubenildo; LORA E. S, Electro. **Geração de Eletricidade a Partir da Gaseificação de Biomassa**. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2006.

SANTOS A. Marco. Fontes de Energia Nova e Renovável. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SANTOS, Jamilsen; MACEDO, Adriana. Consumo mundial de café ultrapassa 162 milhões de sacas no ano cafeeiro 2017- 2018. Embrapa, disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37893451/consumo-mundial-de-cafe-ultrapassa-162-milhoes-de-sacas-no-ano-cafeeiro-2017-2018>>. Acesso em 22 de setembro de 2018.

SILVA O, Henrique; ARDENGHI C, Cristine; RITTER C, Maria; SANTOS F, Rocha; HALMEMAN C. R, Maria. **Potencial energético da biomassa da casca de arroz no Brasil**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

STROBEL, Christian. **Ciclos Térmicos a Vapor**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná. 9 p. Paraná, sem data.

VIEIRA S.M.M, VIEIRA F.S, CARVALHO C.C, TRINDADE L.C, FRANÇA A.B. **Produção de carvão vegetal a partir da carbonização de capim elefante**. Artigo. 4p. São João Del Rei, MG. Universidade Federal de São João Del Rei, 2017.

VILELA, Hebert. **Série Gramíneas Tropicais**. Agronomia, disponível em: <[http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_gramineas\\_tropicais\\_pennis\\_etum\\_purpureum.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_pennis_etum_purpureum.htm)>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

WEG. **Os passos a passos dos processos industriais no setor sucroalcooleiro**. WEG, disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjod3lkrTeAhWJUZAkHeNBBpUQjxx6BAgBEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.weg.net%2Finstitutional%2FBR%2Fpt%2Fnews%2Fprodutos-e-solucoes%2Fo-passo-a-passo-dos-processos-industriais-no-setor-sucroalcooleiro&psig=AOvVaw13\\_mvjStZlfsGBnMnbVW17&ust=1541194336900952](https://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjod3lkrTeAhWJUZAkHeNBBpUQjxx6BAgBEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.weg.net%2Finstitutional%2FBR%2Fpt%2Fnews%2Fprodutos-e-solucoes%2Fo-passo-a-passo-dos-processos-industriais-no-setor-sucroalcooleiro&psig=AOvVaw13_mvjStZlfsGBnMnbVW17&ust=1541194336900952)>. Acesso em 01/11/2018.

WIECHETECK, Marcelo. **Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Florestais, Alternativas Tecnológicas e Propostas de Políticas ao Uso de Resíduos Florestais para Fins Energéticos**. Projeto. Curitiba, 2009.