

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SÁVIO PY CAETANO

**UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ALTERNATIVA
ENERGÉTICA NO BRASIL**

CURITIBA

2018

SÁVIO PY CAETANO

**UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ALTERNATIVA
ENERGÉTICA NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista de Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono. Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dr. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida e por me agraciar com saúde e força todos os dias para seguir em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais pelo amor incondicional, sempre estando do meu lado em qualquer situação e por não terem medido esforços para investir nos meus estudos quando mais precisei.

À minha esposa por acreditar nos meus sonhos, tornando eles os seus próprios sonhos e sempre me incentivando ser uma pessoa melhor.

À Universidade Federal do Paraná e seus colaboradores por abrirem esse curso, para mim, sendo uma nova janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

À professora Ana Paula Dalla Corte pelas orientações e correções durante a elaboração desse trabalho, por ter acreditado e aprimorado as minhas ideias.

Aos meus colegas de curso pela união que mantivemos, sendo de suma importância nos meus momentos de dificuldades durante os estudos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar a importância do uso da biomassa florestal no sistema energético brasileiro, devido as suas vantagens ambientais e socioeconômicas. São os combustíveis fósseis que constituem as principais fontes de energia no mundo, porém são recursos não renováveis, pois levam milhões de anos para se formarem, além de estarem entre os responsáveis pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. No entanto, a utilização da madeira oriunda de florestas plantadas apresenta-se como uma importante alternativa, por ser considerada uma fonte renovável e limpa. O Brasil dispõe de extensão territorial e clima favorável para cultivo de florestas plantadas para fins energéticos, necessitando de maiores incentivos das entidades governamentais.

Palavras chaves: floresta plantada, madeira, energia.

ABSTRACT

The present work aims to present the importance of the use of forest biomass in the Brazilian energy system, due to its environmental and economic advantages. They are the fossil fuels that are the main sources of energy in the world, but they are nonrenewable resources because they take millions of years to form, besides being responsible for the increase of concentration of greenhouse gases in the atmosphere. However, the use of wood from planted forests is an important alternative because it is considered a clean and renewable source. Brazil has a territorial extension and a favorable climate for the cultivation of forests planted for energy purposes, requiring greater incentives from governmental entities.

Keywords: planted forest, wood, energy.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: CENÁRIO GERAL DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, ANO BASE 2015.	17
GRÁFICO 2: CENÁRIO GERAL DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA, ANO BASE 2016	17
GRÁFICO 3: FONTES INTERNAS DE ELETRICIDADE NO BRASIL, ANO BASE 2016.....	18
GRÁFICO 4: PARTICIPAÇÃO DA SILVICULTURA E DO EXTRATIVISMO NA PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA COMBUSTÍVEL (LENHA E CARVÃO) E PARA INDÚSTRIA (TORA).....	29
GRÁFICO 4: PERCENTUAL EM TORA DE MADEIRA.....	29
GRÁFICO 5: QUANTIDADE DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA DISPONIBILIZADA PARA INDÚSTRIA POR FINALIDADE E ESPÉCIE, ANO BASE 2016.	30
GRÁFICO 6: QUANTIDADE DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA COMBUSTÍVEL POR FINALIDADE E ESPÉCIE, ANO BASE 2016.	30

LISTA DE FOTOS

FOTO 1: LENHA DE EUCALIPTO SP.....	24
FOTO 2: CARVÃO VEGETAL.....	26
FOTO 3: RESÍDUO DE OPERAÇÕES FLORESTAIS.....	32
FOTO 4: CAVAQUEAMENTO DA BIOMASSA FLORESTAL.....	36
FOTO 5: PALLETS.	37

LISTA DE FLUXOGRAMAS

FLUXOGRAMA 1: GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA FLORESTAL.	34
FLUXOGRAMA 2: PROCESSOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS EM PROCESSOS TERMOQUÍMICOS.....	38
FLUXOGRAMA 3: ROTAS DE GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL BASEADA NO TIPO DE AGENTE GASEIFICANTE.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TOTAL DE ÁREAS DE FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL POR GÊNERO E ESTADO (MIL E HECTARE)	333
---	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO GERAL	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 BIOMASSA	13
3.2 USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA	14
3.3 BIOMASSA FLORESTAL	19
3.4 LENHA E CARVÃO VEGETAL	22
3.5 RESÍDUOS DE MADEIRA	30
3.6 PROCESSOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA	36
3.6.1 Combustão direta	37
3.6.2 Pirólise	39
3.6.3 Gaseificação	40
3.6.4 Liquefação	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
5 RESULTADOS E DISCUÇÕES	45
6 CONCLUSÕES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho procurou reunir enfoques sobre as formas da geração de energia no Brasil, que se torna cada vez mais importante. Com objetivo de buscar perspectivas, alternativas e uma representação atualizada deste setor com profunda abordagem na participação da biomassa florestal. O mercado da área florestal apresenta um grande crescimento e possibilidades para utilizar seus recursos na geração de energia de forma menos danosa ao meio ambiente e a saúde humana, além de apresentar um baixo custo de produção.

O crescimento da população mundial trouxe consigo a demanda por mais energia, baseado em combustíveis fósseis. Desta forma a humanidade instalou-se sobre uma matriz energética insegura, cara e ainda bastante prejudicial para o meio ambiente, podendo acarretar sérios problemas para as futuras gerações. Esse tema traz preocupações para o governo de muitos países, e assim avaliarem a necessidade de intensas mudanças, incluindo a busca por outras fontes energéticas, principalmente as renováveis, incluindo-se a biomassa.

No campo energético, a madeira é tradicionalmente chamada de lenha e, nessa forma, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos. Ao longo dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (ANEEL, 2005).

A biomassa florestal apresenta-se de maneira competitiva como fonte de energia por ser encontrada com facilidade e com abundância. Geralmente os resíduos de operações florestais são reaproveitados nos processos industriais como combustíveis em caldeiras para geração de energia. Nesses setores a geração de energia elétrica a partir da biomassa já é uma realidade, principalmente no ramo de papel e celulose, em que seu combustível principal são as sobras de seus processos.

O Brasil se destaca, na visão global, por possuir uma matriz energética amplamente renovável e com fortes condições de crescer ainda mais nesse cenário, devido sua grande extensão territorial e capacidade natural no

desenvolvimento de floresta plantada. Assim, poderá sua biomassa ser destinada para o setor energético. Desta forma, pode ser um importante auxílio para enfrentar às crises nacional de energia, e fundamental alternativa para a substituição dos combustíveis fósseis, responsáveis por grande emissão de gases de efeito estufa.

A maior parte da biomassa florestal destinada para o setor de bioenergia é a lenha, sendo o principal fornecedor de energia primária, tanto nas indústrias, como também nas residências. Esse destaque se deve ao carvão vegetal, insumo procedente da madeira, com grande contribuição na indústria de siderurgia.

Os processos para se gerar energia a partir da biomassa florestal podem ser analisados em dois grupos distintos. São os primeiros que fazem uso da madeira como recurso energético primário, a partir de sua combustão direta. Segundo são aqueles que fazem o uso de combustíveis derivados da madeira, através de processos termoquímicos (pirólise, gaseificação ou liquefação).

O uso da biomassa florestal no setor energético se apresenta como uma excelente alternativa socioambiental. Tendo em vista que reduz a emissão de gases de efeito estufa, e evitando a degradação dos recursos naturais, uma vez que esse combustível é oriundo de florestas plantadas. Ainda sendo fonte de geração de empregos em regiões de difícil alcance, nas quais são cultivadas as florestas. Além de consolidar a matriz energética brasileira no cenário renovável.

2 OBJETIVO GERAL

Analisar o uso da biomassa florestal como fonte de energia renovável para o Brasil.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Retratar os benefícios socioambientais com o uso da biomassa na geração de energia.

Apresentar as formas que a biomassa florestal é comumente utilizada nos processos de geração de energia.

Incentivar planos públicos para expandir o manejo de florestas plantadas e estimular investidores a aderirem à biomassa florestal na geração de bioenergia.

Elencar os principais meios de aquisição da biomassa florestal e seus processos industriais na conversão para energia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMASSA

A biomassa é o material orgânico que vem sendo muito utilizado no Brasil para geração de energia nos processos industriais, e tem sido uma das principais alternativas para diversificação da matriz energética e na redução de uso de combustíveis fósseis. A biomassa pode ser considerada como um recurso natural renovável, ao contrário dos combustíveis fósseis que não se renovam em curto prazo. De acordo com Ministério de Minas e Energia (2017) compõem a biomassa consumida como fonte de energia no Brasil: o bagaço e a palha da cana, os resíduos de madeira da produção de celulose, o biogás, a casca de arroz, dentre outros pouco significativos.

Do ponto de vista energético, para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, biomassa é qualquer recurso renovável oriundo de matéria orgânica. Advindo de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada em processos de produção de energia. Assim como na energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2005).

Segundo Souza et al (2002) a biomassa é definida como toda matéria orgânica de vegetal (vegetação terrestre ou aquática), formada pelo processo de fotossíntese, o qual ocorre na presença da luz solar. Pode-se dizer que a biomassa é uma forma de armazenamento de uma pequena fração da energia solar que incide na superfície da terra, na forma de ligações moleculares orgânicas (energia química). Esta energia é liberada por processos biológicos (digestão) e termoquímicos.

Todas as formas de matérias e resíduos derivados de plantas e animais sejam aquáticos ou terrestres, cuja composição primária é carbono, hidrogênio e oxigênio são conhecidos como biomassa (SOUZA et al, 2002).

Coelho (1982) citado por Soares et al (2006), define a biomassa como o conjunto de materiais orgânicos originados por organismos autótrofos do reino vegetal (fitomassa) ou acumulados nos seres heterótrofos do reino animal

(zoomassa). Os organismos fotossintéticos são capazes de modificar a energia solar em energia química, mediante a atuação biogeoquímica dos cloroplastos contidos na clorofila das plantas. Essa energia é retida e acumulada nos espaços intermoleculares onde é liberada em processos que envolvem oxidação, redução e hidrólise, que podem ser de natureza termoquímica, bioquímica e biológica.

Segundo Mano et al (2000) a biomassa é um termo genérico para o conjunto de recursos biologicamente renováveis, originados de material vegetal, sendo uma forma de energia solar armazenada, ou seja, as árvores usam a luz solar, na fotossíntese, para converter CO₂ (dióxido de carbono) e H₂O (água) em produtos de alto teor energético, que são os carboidratos, e oxigênio. Essa matéria é susceptível a transformação para energia útil, tal como o calor, a eletricidade e a força motriz. A origem desses recursos é podem ser das mais variadas: resíduos industriais, sobras de madeira de operações florestais, resquícios de plantações, plantas energéticas como cana de açúcar e os cereais.

Segundo Brown (1997) citado por Silveira (2014), através da fotossíntese, as plantas capturam a energia do sol, transformando-a em energia química. Então, essa energia poderá ser transformada em eletricidade, combustível ou calor. As fontes orgânicas que são usadas para geração de energia usando esse processo são chamadas de biomassa.

Portanto, no cenário energético, o conceito mais abrangente para abordar biomassa é que seria todo recurso renovável oriundo da matéria orgânica, sendo de origem animal ou vegetal, que poderá ser utilizado como fonte de geração de energia.

3.2 USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

O consumo de energia está ligado ao desenvolvimento da civilização. Desde os primórdios, quando o homem descobriu o fogo, começou a utilizar sua energia para cocção de alimentos, fonte de calor e outros fins. Contudo, essa energia tem sido adquirida através de atividades extrativistas, aproveitando-se assim dos recursos da natureza. Esse processo era efetuado sem quaisquer preocupações com as consequências que poderiam advir de sua execução, pois

se acreditava que os recursos naturais eram fontes abundantes de energia, sem previsão de esgotamento (CARDOSO, 2012).

Segundo Dupont (2015), os interesses da atual sociedade estimula cada vez mais a comunidade científica a pesquisar e desenvolver estratégias para o aproveitamento de fontes alternativas de energia, que sejam renováveis e que provoquem reduzido impacto ambiental. Essa conversão tem de ser determinado na prática através de uma maior participação das fontes renováveis na matriz energética mundial.

O uso da madeira de florestas e resíduos agrícolas eram as fontes dominantes de energia usada no mundo para atender as necessidades básicas da sociedade até os meados do século XIX. Aproximadamente um terço da população mundial, especificamente na África, Ásia e América Latina ainda sobrevive com o uso de biomassa, aproveitada com tecnologias primitivas. A partir de 1850, com o desenvolvimento dos motores de combustão interna, o carvão passou a ser usado em larga escala. E por volta de 1900 começou a aumentar o consumo de petróleo e derivados, e mais recentemente o gás natural (GOLDEMBERG, 2016).

A biomassa continua sendo utilizada no nível de 1850, porém grande parte com tecnologias mais avançadas como na produção de eletricidade ou biocombustíveis substituindo derivados de petróleo. A utilização da biomassa como fonte de energia alternativa é atuante em resposta às preocupações com o aquecimento global, para o qual a contribuição das emissões de CO₂ (resultante da combustão dos combustíveis fósseis) é dominante (GOLDEMBERG, 2016).

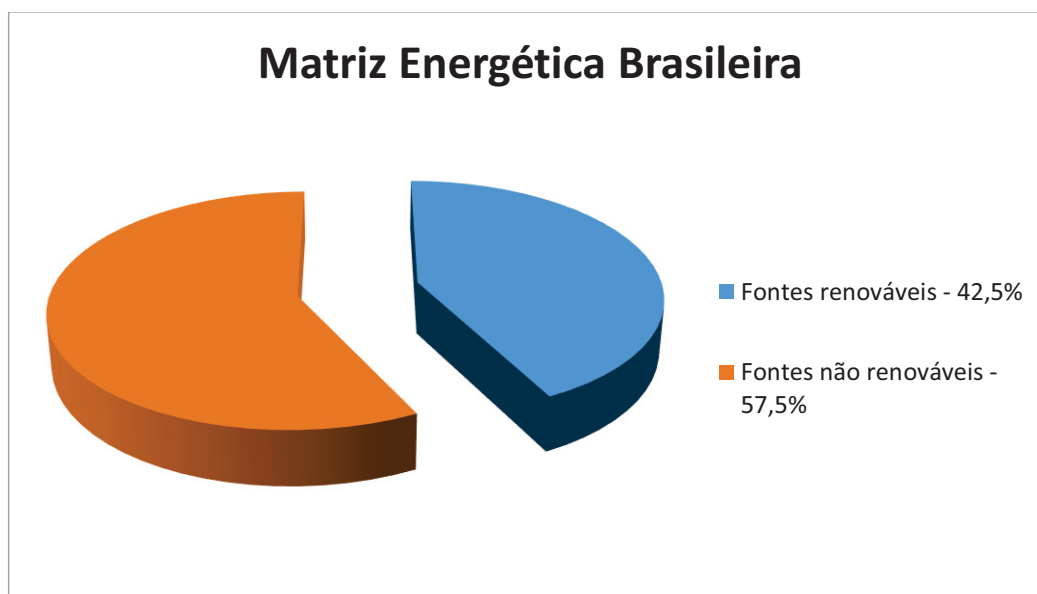
O Brasil pode ser considerado como um país com extensão continental, que a cada dia vem crescendo em termos populacionais e econômicos, como consequência direta dessa expansão, ocorre um aumento da demanda por alimentos, fibras e energia. Analisando esse cenário, a produção de energia a partir da biomassa de culturas como agrícolas e florestais, surge como uma alternativa importante, uma vez que esses recursos se encontram em grande escala, e possui a vantagem de gerar energia elétrica próxima ao local de consumo, reduzindo os gastos com transmissão, além de otimizar o uso da terra, produzindo alimentos, bens de consumo e energia a partir de uma mesma unidade de área (PIERRI, 2014).

A biomassa retornou a sua posição de segunda fonte de geração mais importante do Brasil na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), com o registro de 8,8% em 2016, superando a participação do gás natural com 8,1%. De um total de geração de 54 TWh por biomassa em 2016, o bagaço e a palha da cana contribuíram com 36 TWh, ou 67%, demonstrando maior representatividade (MME 2017).

São de grande importância a exploração e pesquisa de recursos energéticos em um país, pois com isso ele se torna menos vulnerável a problemas futuros com suprimento de energia. Um exemplo de tal despreparo ocorreu com o Brasil durante a década de 70, quando teve que importar petróleo a preços elevados, porque dependia em 80% de importações do produto para satisfação de sua demanda interna. Como medida para enfrentar a crise foi criado na ocasião o PROÁLCOOL (Programa Nacional do Álcool), que consistiu em uma iniciativa do governo brasileiro de intensificar a produção de álcool combustível (etanol), o biocombustível a partir da cana de açúcar, visando à substituição de uma parte da gasolina (SOUZA et al, 2002).

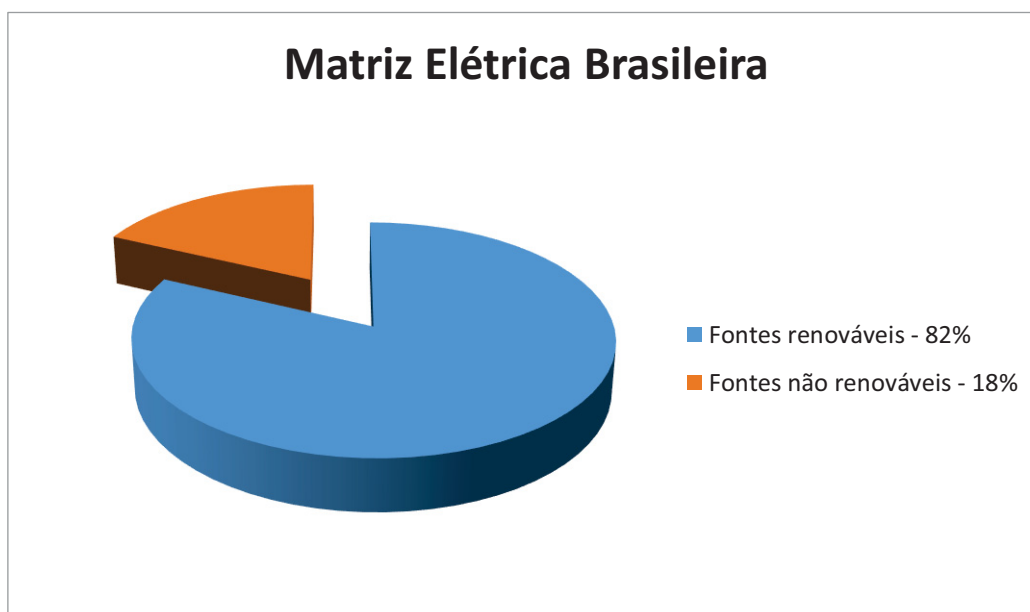
As transformações que estão ocorrendo no setor energético brasileiro têm impulsionado o crescimento das fontes renováveis. Em 2015, as fontes renováveis no Brasil totalizaram participação de 42,5% na matriz energética, conforme o GRÁFICO 1, indicador quase três vezes superior ao indicador mundial, com apenas 13,8%. O Brasil também se destaca na matriz de geração elétrica com 75% de renováveis, enquanto o mundo detém 23,8%, referente aos dados que constam no boletim “Energia no Mundo 2014-2015” (MME, 2016).

GRÁFICO 1: CENÁRIO GERAL DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, ANO BASE 2015



FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2017).

GRÁFICO 2: CENÁRIO GERAL DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA, ANO BASE 2016

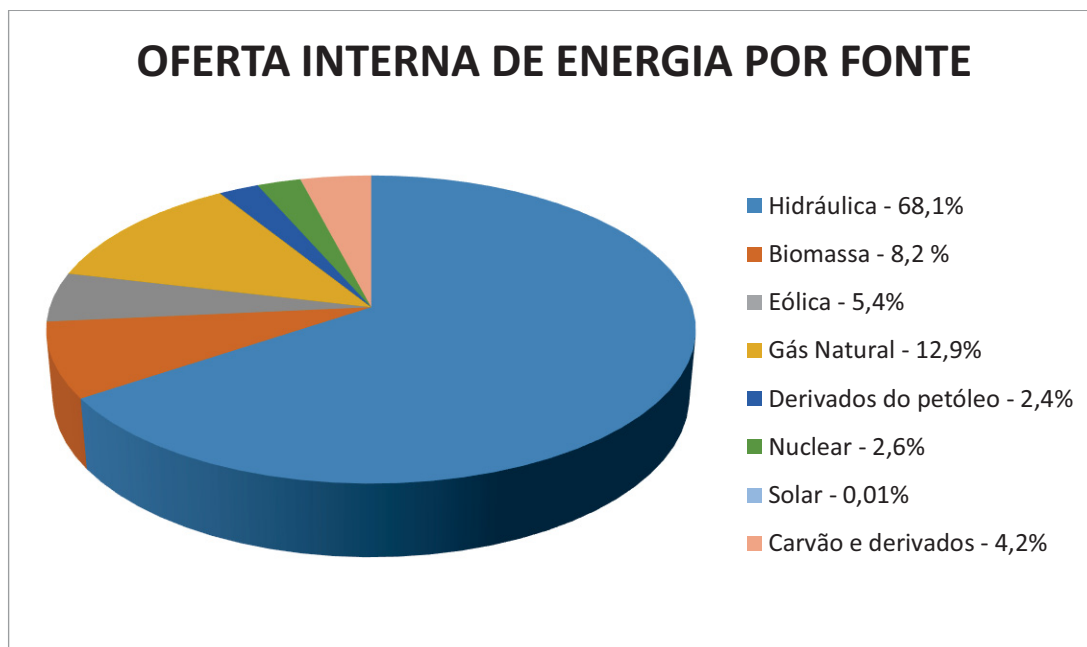


FONTE: EMPRESA DE PESQUISA E ENERGIA (2017).

Avaliando o cenário da geração de energia elétrica o Brasil dispõe de uma matriz de origem predominantemente renovável. Conforme o Balanço Energético Nacional disponibilizado em 2017 com ano base 2016 as fontes renováveis representam 82% da oferta interna de eletricidade no Brasil. A geração a partir da biomassa representa 8,2%, com destaque para a geração

hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (EPE, 2017).

GRÁFICO 3: FONTES INTERNAS DE ELETRICIDADE NO BRASIL, ANO BASE 2016



FONTE: EMPRESA DE PESQUISA E ENERGIA (2017).

O Brasil encontra-se em posição de destaque comparado com as fontes utilizadas para geração de energia elétrica no mundo, com ano base 2015 no qual 39,1% foram de carvão mineral, 22,3% de gás, 3,9% de óleo, 10,6% de urânio, somente 17,1% de hidráulica, que representa as fontes renováveis, e ainda 7% de outras fontes não especificadas. As fontes renováveis somaram apenas 24% das ofertas mundiais de eletricidade (MME, 2016).

Quanto às emissões de dióxido de carbono (CO₂) pelo uso de energia, o mundo emitiu 32.100 Mt de CO₂, em 2015, equivalentes a um indicador de 2,33 tCO₂ por tep de energia consumida. No Brasil, o indicador de emissões ficou em apenas 1,55 tCO₂/tep (66% do indicador mundial), em razão da maior presença de fontes renováveis na sua matriz energética. (MME, 2016). Dentre essas fontes renováveis destaca-se a biomassa que vem sendo muito utilizada nos processos industriais para geração de energia elétrica, principalmente nas

indústrias de papel e celulose, e as álcool-açucareiras que utilizam os resíduos da matéria prima do processo.

Uma pesquisa aponta que o Brasil é o oitavo maior consumidor de energia elétrica de todo o mundo. Esse crescimento está relacionado principalmente ao setor industrial com 39,8% da energia consumida. Evidenciou-se que as principais cidades consumidoras de energia e onde se dispõe de maior concentração de subestações de grande porte, são as que possuem atividades industriais, principalmente relacionadas à produção de alimentos, mineração e agroindústria (FAPEG, 2015).

Dentre os diversos processos no setor industrial de conversão energética a partir da biomassa, a combustão direta é a maneira mais habitual. A partir da combustão da biomassa vegetal nas caldeiras, se obtém energia térmica na forma de calor, que ao evaporar a água, forma um vapor de alta pressão que aciona uma turbina acoplada a um gerador, produzindo a energia elétrica. Esse processo de produção simultânea de vapor e de eletricidade é conhecido como cogeração. No Brasil, o setor sucroalcooleiro é praticamente autossuficiente em energia elétrica, em que 95% da eletricidade consumida pelas indústrias deste setor são provenientes da cogeração do bagaço da cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar também é matéria prima para outra importante tecnologia de conversão da biomassa em energia: o etanol obtido através da fermentação do açúcar é um dos principais combustíveis renováveis do mundo, principalmente no Brasil. Além desses processos, outras tecnologias como a pirólise e a gaseificação da biomassa são utilizadas, apesar de serem em menor proporção em relação à combustão direta (PIERRE, 2014) citado por (LORA e ANDRADE, 2009).

3.3 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal foi muito utilizada ao longo dos tempos, sendo a lenha o insumo energético básico de maior utilização em todo o mundo, onde teve participação de fundamental importância no período da Revolução industrial para produção de vapor. Mesmo sendo depois substituída por combustíveis de

fontes não renováveis, principalmente nos países desenvolvidos, ainda é uma fonte de energia muito importante para alguns países e setores da economia nos dias atuais (MIRANDA 2015).

No Brasil, devido a sua característica climática e estrutura de solo, proporciona-se uma grande vocação para desenvolvimento de florestas e de produtos florestais. São de fundamental importância as atividades florestais, não apenas pela cobertura de florestas que existe no País, mas pelo beneficiamento energético, pela capacidade de geração de emprego e aspecto de renda. Sendo o setor de produtos florestais basicamente, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, painéis de madeira, móveis, pasta de madeira e papel e madeira para energia (TEIXEIRA, 2009).

O setor florestal no Brasil tem alcançado um crescimento expressivo e uma participação direta no mercado econômico nacional, transformando-se em uma fonte geradora de empregos e diversos recursos, através da circulação de seus produtos e seus derivados tanto no mercado interno quanto no externo (MIRANDA, 2016).

O Brasil dispõe de uma matriz energética mais limpa do que a maioria dos países, tendo em vista que essa matriz é representada por mais de 42% de fontes renováveis. Se considerada apenas a geração de energia elétrica, uso de fontes renováveis chega a 3/4 da energia gerada total. (MME, 2017). Para favorecer ainda mais o setor de energias renováveis no Brasil, a utilização da madeira para fins energéticos está crescendo cada vez mais. Porém o investimento no setor florestal ainda é em longo prazo (SNIF, 2016).

A geração de energia a partir da biomassa surge como uma das principais alternativas para a substituição do petróleo e seus derivados no Brasil, com destaque para a biomassa florestal proposta para o atendimento das demandas de residências urbanas, rurais, do setor industrial, em especial a siderurgia. Ressalta-se sobre a dependência da população de baixa renda por essa fonte de energia (REMADE, 2014).

Atualmente as florestas que são plantadas com a finalidade de favorecer o setor de bioenergia possuem um aproveitamento quase total da biomassa produzida. Pesquisas relacionadas ao tema demonstram que atualmente a biomassa florestal representa cerca de 15,8% da geração de energia elétrica no Brasil, o que mostra que o país tem o potencial para diversificar suas fontes e

dependem menos de energia oriunda de combustíveis fósseis, garantindo eficiência energética tendo em vista que o uso desse combustível não é esgotável (SNIF, 2016).

A biomassa florestal pode ser definida como o fragmento biodegradável de produtos e resíduos gerados nas florestas e que são processados para objetivos energéticos. Cita-se como exemplos: lenha resultante do abate de árvores, resíduos provenientes da limpeza de florestas, ramos provenientes da poda de pomares, matos, desperdícios resultantes da indústria transformadora da madeira (REMADE, 2014).

Para Cardoso (2012), a biomassa energética florestal é definida como produtos e subprodutos dos recursos florestais que abrangem biomassa lenhosa, produzida de forma sustentável a partir do manejo de florestas plantadas ou de florestas nativas, oriundas do desflorestamento de floresta nativa para abertura de áreas para agropecuária. Cita-se também a que é originada em atividades que processam ou utilizam a madeira para fins não energéticos, destacando-se a indústria de papel e celulose, indústria moveleira, serrarias.

As vantagens socioambientais do uso da biomassa são inúmeras. Quando cultivada de maneira sustentável, seu manejo e utilização não acarretam aumento de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, entendendo que o CO₂ liberado pela combustão é capturado da atmosfera durante o processo de fotossíntese, assim, caracterizando esse combustível como uma fonte limpa. Além disso, sua utilização em larga escala para fins energéticos pode promover desenvolvimento sustentável de áreas rurais e regiões pouco desenvolvidas, reduzindo o êxodo para as áreas densamente urbanizadas (SOARES, 2006).

De acordo com a origem a biomassa florestal pode ser designada de Biomassa florestal primária e Biomassa florestal secundária. Compreende a Biomassa florestal primária a fração biodegradável dos produtos gerados na floresta e que são processados para fins energéticos, formada pelos materiais vegetais procedentes das operações silvícolas como podas, seleção de toiças, desbastes, cortes fitossanitários e controle da vegetação espontânea. A Biomassa florestal secundária é a matéria orgânica residual gerada nos processos das indústrias de transformação da madeira, tais como, serrações,

fábricas de celulose, tábuas e contraplacados, carpintarias e indústrias do ramo mobiliário (SILVAPLUS, 2013).

As características da biomassa florestal podem variar significativamente de acordo com as respectivas características: de acordo com a espécie florestal em causa e a fração da árvore (tronco, ramos, casca), o teor de humidade que se apresenta, forma e modo de tratamento, entre outros fatores. Essas diferentes variáveis conferem características distintas à biomassa e conseqüentemente ao seu poder calorífico, condicionando o tipo de utilização mais adequado (SILVAPLUS, 2013).

Uma das alternativas para utilização desse material, sem dúvida, é a geração de energia. Porém, a biomassa, sendo os resíduos de madeira, precisa receber o tratamento adequado para a melhoria da qualidade do material, de maneira a garantir sua eficiência energética (BRAND, 2014).

Para Brand (2014), a forma mais comum de uso da biomassa florestal, principalmente na indústria, é em cavacos. Nesse caso, o tamanho das partículas tem grande influência sobre a velocidade e intensidade das alterações ocorridas nas propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa ao longo do tempo de estocagem. Essas variações são mais intensas e rápidas em partículas menores (cavacos), comparando com a biomassa de maiores dimensões (toras e árvores inteiras).

3.4 LENHA E CARVÃO VEGETAL

A madeira talvez tenha sido a matéria mais versátil e mais utilizada pelo homem ao longo de sua história, é um recurso natural importante, principalmente por ser renovável e estar presente no dia-a-dia em diferentes setores: na construção de habitações, revestimento de paredes, pisos, forros, estruturas de coberturas; na indústria de fabricação de papel, substâncias químicas orgânicas; na indústria moveleira; na fabricação embalagens; dentre outras inúmeras aplicações cita seu uso como combustível, sendo essa alternativa energética de fundamental importância no desenvolvimento humano.

No ponto de vista energético, a madeira é tradicionalmente apontada como lenha, seu uso para energia é um componente de vital importância no

suprimento de energia primária, especialmente no uso doméstico e industrial. Dessa maneira, a lenha ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, sendo sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada no preparo de alimentos. Com passar dos tempos, tornou-se fonte de combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (COUTO, 2014).

Atualmente, mais da metade da produção de madeira é fornecida para setor energético no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento. A demanda ainda é maior nas residências e no setor industrial, e de extrema importância para as populações rurais. No Brasil, a trajetória da madeira como alternativa energética é parecida com o restante do mundo até 1971, no momento do auge da industrialização brasileira, era a fonte primária mais utilizada, apresentando uma oferta de quase 32 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep). Pois em 1972 foi ultrapassada pelo petróleo, e pela hidroeletricidade em 1978, e desde então, foi perdendo participação relativa na matriz energética (BARROS e MANZONI, 2015).

Segundo Cardoso (2012), a lenha também definida como ramos, troncos, achas (tora de lenha, cavaca) de madeira tosca ou quaisquer pedaços de madeira que podem ser utilizados como combustível. No Brasil, a lenha possui participação com cerca de 10% da produção de energia primária e continua tendo grande importância na matriz energética do país. Em relação a sua composição a lenha possui de 41% a 49% de celulose, de 15% a 27% de hemicelulose e de 18% a 24% de lignina e seu poder calorífico inferior médio é de 3100 Kcal/Kg.

A avaliação da qualidade da madeira para energia é de extrema importância quando se objetiva uma melhor conversão energética da mesma, seja na queima direta ou na produção de carvão vegetal com alto rendimento e baixo custo. Pois, uma vez conhecendo as características da madeira, pode-se otimizar o potencial das espécies destinando-se àquelas que possui, dentre outras características, maior quantidade de energia por unidade de massa para usos específicos (SANTOS et al, 2013).

Um fator limitante relacionado à sua utilização com maior eficiência é a falta de conhecimento das suas propriedades energéticas e a forma inadequada de sua utilização, uma vez que a eficiência de conversão sofre grande influência

da madeira. Além da produtividade, características como densidade básica, teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, como também a composição elementar e o poder calorífico, estão entre os principais critérios de seleção da madeira para essa atividade (SANTOS et al, 2013).

Desta forma, é importante a existência de experimentos florestais sólidos para avaliação das condições gerais do terreno, do plantio e das idades das árvores, para que se adquirirem mais informações referentes à qualificação das espécies destinadas à geração de energia renovável (ELOY, 2015).

FOTO 1: LENHA DE EUCALIPTO SP



FONTE: O AUTOR (2018).

A madeira tem grande ênfase como fonte de energia, isso também se deve ao carvão vegetal que dela é oriundo. Sua produção tem destaque ao atendimento de diversos setores também em utilização residencial urbana e rural. Porém sua principal contribuição ainda é destinada a indústria da siderurgia. A utilização do carvão vegetal na siderurgia é avaliada como produto de fator irreversível no atendimento da sua demanda por insumos energéticos e redutores desta continuidade industrial (OLIVEIRA e MENDES, 2016).

Do ponto de vista ambiental sobre o uso da madeira para a produção de carvão vegetal, apresenta certa preocupação, pelo motivo do Brasil ainda não

ser totalmente capaz de atender sua demanda energética somente de florestas plantadas, sendo essa a forma ambientalmente mais recomendada para a aquisição da matéria-prima, assim podendo crescer conseqüentemente a pressão sobre as matas nativas, isso porque há uma expansão da indústria siderúrgica (BARROS e MANZONI, 2015).

A forma ambientalmente correta para a extração da madeira é através do cultivo de florestas plantadas, sendo que o Brasil é favorecido em condições naturais para essa cultura. Só assim podemos controlar de vez o desmatamento dos fragmentos de vegetação nativa e seus recursos ecológicos, e combater o comércio ilegal da madeira.

Para a produção do carvão vegetal, o reflorestamento terá que retornar numa cadência maior, atendendo a demanda por mais regiões. As grandes empresas que vêm utilizando o carvão vegetal como alternativa de combustível estão aumentando suas atividades de reflorestamento. Assim o uso da madeira na produção de energia diminui a dependência energética externa e uma maior segurança quanto ao suprimento dessa demanda (OLIVEIRA E MENDES, 2016).

Para Moura (2015), seria uma política florestal adequada para ampliar as áreas com florestas no Brasil, dessa forma desenvolveria o manejo florestal e promoveria a exploração dos recursos naturais de acordo com estratégias ecológicas modernas. O zoneamento florestal com manejo sustentável das florestas é de grande valia para o suprimento da madeira utilizada pelos produtores de carvão vegetal, assim como na manutenção de importantes áreas florestadas e proteção do meio ambiente. Junto a esta política, deveriam ser aperfeiçoadas as técnicas de produção de carvão vegetal, prevendo a recuperação de subprodutos, que reduziriam as emissões de gases de efeito estufa e valorizariam a madeira como matéria prima.

Segundo Fialho (2010), nos últimos anos não ocorreram políticas consistentes ou estímulos específicos para o desenvolvimento do setor florestal produtivo. Como conseqüência os investimentos foram diminuídos significativamente, limitados somente às iniciativas das empresas mais estruturadas e sem a participação dos pequenos produtores, que se sentem inseguros para um investimento de longo prazo, como os plantios florestais.

Segundo Barros e Manzoni (2015), a ausência de políticas públicas para o uso da biomassa energética é devido as empresas atuantes neste setor serem de pequeno e médio porte, e não constituírem um grupo econômico organizado com força política relevante para a defesa de seus interesses, deixando o desenvolvimento tecnológico somente às empresas privadas envolvidas no setor, as quais não possuem recursos monetários suficientes para o investimento em pesquisa e desenvolvimento.

No Brasil aproximadamente 33% da lenha produzida foi transformada em carvão vegetal no ano de 2010. Essa transformação ocorre através de processos conhecidos como carbonização, que consiste na queima da lenha com presença controlada de ar. A conversão da madeira em carvão vegetal ocorre no processo de pirólise, onde a lenha é submetida a altas temperaturas em um ambiente com pouquíssima ou nenhuma quantidade de oxigênio. O poder calorífico inferior do carvão vegetal é de 6460 Kcal/Kg e sua densidade média é de 250 Kg/m³. 10 Em relação a sua composição têm-se de 20% a 35% de material volátil, de 65% a 80% de carbono fixo e de 1% a 3% as cinzas (CARDOSO, 2012).

FOTO 2: CARVÃO VEGETAL



FONTE: FVG DIREITO RIO (2012).

No Brasil o carvão vegetal destina-se quase que exclusivamente ao setor siderúrgico, para redução do minério de ferro e produção de ferro-gusa, aço e ferro-liga. Uma menor parte é destinada a indústria cimenteira e ceramistas, ao uso comercial em padarias e churrascarias, além do uso comercial para cocção de alimentos.

O Brasil é o maior produtor mundial deste insumo energético, sendo o setor industrial, liderado pelas indústrias de ferro-gusa, aço e ferro-ligas, o maior consumidor do carvão vegetal utilizando 85% da produção nacional. O setor residencial consome cerca de 9% e o setor comercial fica com 1,5% da produção de carvão vegetal (CARDOSO, 2012).

Basicamente a produção de carvão vegetal implica na dispersão de grande quantidade de matéria e energia, iniciada com a derrubada da mata e prosseguindo durante o processo de carbonização onde são gerados gases voláteis que são compostos de uma fração que pode ser liquefeita, conhecida como material pirolenhoso, e de uma fração não condensável. Assim, do processo de carbonização aproveita-se apenas o carvão vegetal, dispersam-se gases, vapores d'água, líquidos orgânicos e alcatrão (CARDOSO, 2012).

O processo de carbonização da madeira é fundamental na eficiência energética em alguns setores industriais, a energia do carvão vegetal é praticamente o dobro do conteúdo de energia da madeira seca (900kJ/kg). Quando carbonizado a temperaturas máximas de 400°C e poder calorífico inferior a 1690 kJ/kg, pode se obter o carvão vegetal com 75% de carbono fixo. É função de a carbonização concentrar energia no volume disponível de madeira (MOTA, 2013).

Para garantir a eficiência econômica e sustentável da produção de carvão vegetal no Brasil, ressalta-se sobre a importância das carvoarias serem instaladas em zonas industriais, próximas a indústrias que produzam resíduos de madeira, como as serrarias. Caso contrário, se essas indústrias ficarem próximas as zonas urbanas, poderão alterar significativamente o nível de poluição local, expondo a população a efeitos danosos da fumaça e das partículas emitidas durante o processamento da lenha.

Atualmente as florestas plantadas no Brasil se estendem, por cerca de 7 (sete) milhões de hectares, em sua grande maioria composta de pinus e eucalyptus, reduzindo o uso da madeira oriunda dos recursos naturais (florestas

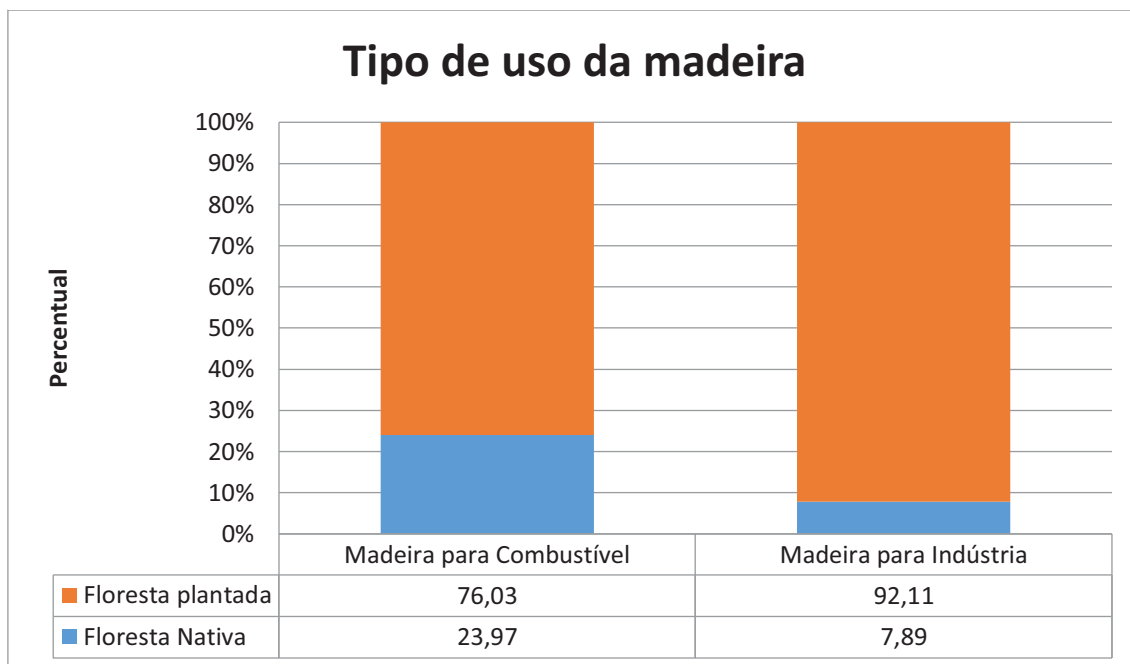
nativas), obedecendo às leis ambientais vigentes. Por meio desse manejo correto e sustentável a produção é destinada à indústria de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, produtos de madeira sólida e madeira processada, além da borracha (SENAR, 2016).

Os plantios florestais surgiram intensamente somente a partir da década de 60 influenciados pelas políticas de incentivos fiscais do Governo Federal, entre 1966 e 1988, assim ocorreu elevado aumento na produção de carvão vegetal. Em um primeiro momento estabeleceu-se o reembolso de 50% do imposto de renda para siderúrgicas que confirmassem que seus projetos seriam destinados a formação de plantações florestais, diversificou-se as vias de financiamento e criou o Fundo de Financiamento Setorial (FISSET), o qual previa condições favoráveis em termos de custo do crédito, prazos de pagamentos e garantias em relação ao mercado (MOTA, 2013).

As espécies comumente cultivadas nos reflorestamentos são pinus e eucalipto, porém outras espécies como seringueira, acácia, paricá, teca, araucária e pópulus também são bastante cultivadas. De acordo com dados do SENAR (2016) o estado de Minas Gerais lidera em área plantada, contando 1,49 milhão de hectares, seguido por São Paulo, com 1,18 milhão, depois o Paraná, com 817 mil, Bahia 616 mil e por fim, Santa Catarina com 645 mil hectares. Juntos, estes estados abrangem 72% da superfície nacional de florestas plantadas.

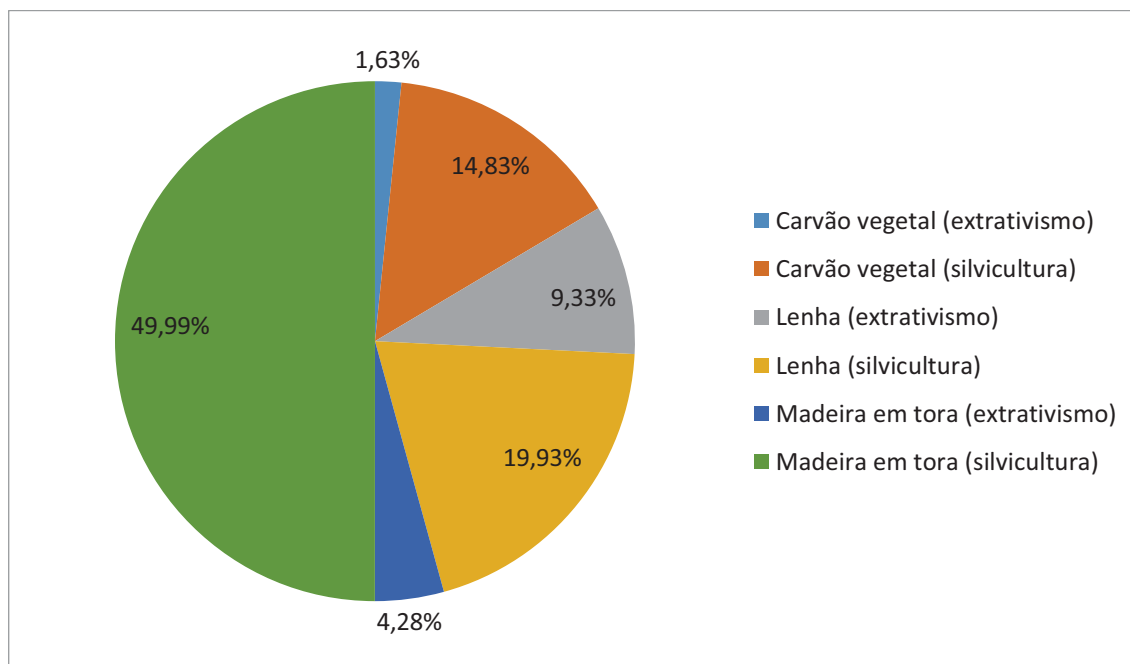
Atualmente, as florestas plantadas no Brasil se estendem por milhões de hectares, predominando as espécies de pinus e eucalipto. Essa produção geralmente é destinada à indústria de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, e outras finalidades. A matéria prima oriunda da floresta plantada já supera a oriunda de atividades extrativistas de florestas nativas, conforme a representação dos respectivos gráficos abaixo:

GRÁFICO 4: PARTICIPAÇÃO DA SILVICULTURA E DO EXTRATIVISMO NA PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA COMBUSTÍVEL (LENHA E CARVÃO) E PARA INDÚSTRIA (TORA)



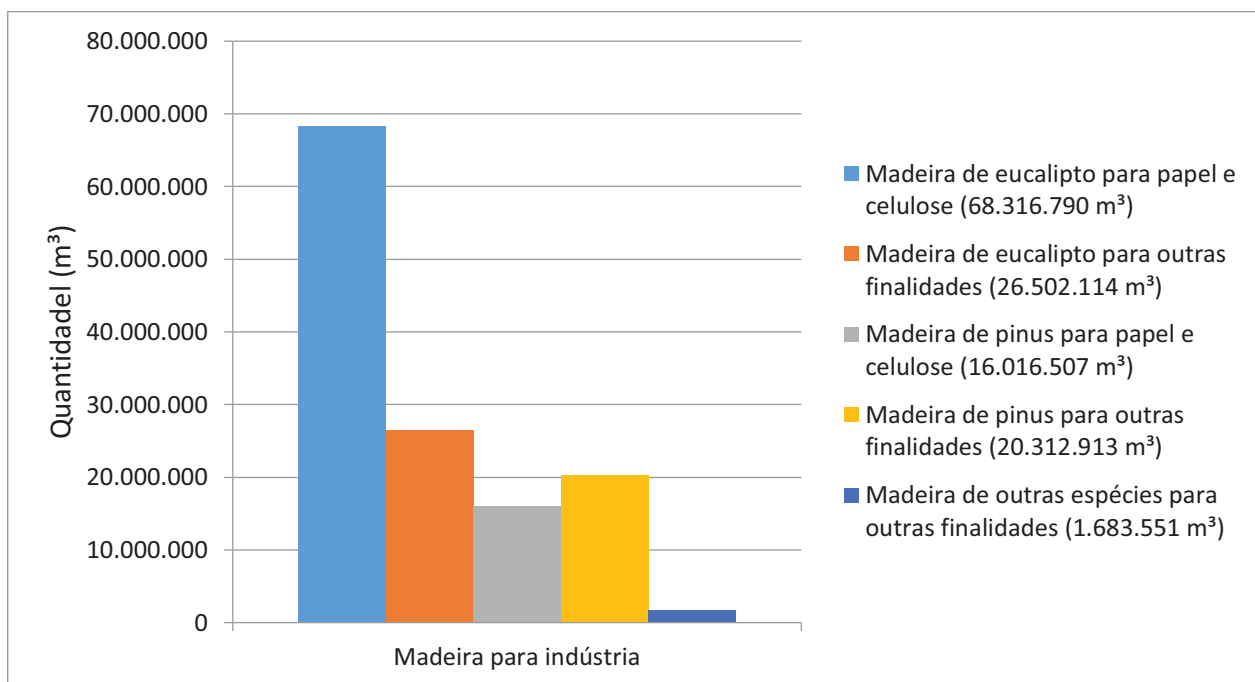
FONTE: SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (2017).

GRÁFICO 5: PERCENTUAL EM TORA DE MADEIRA



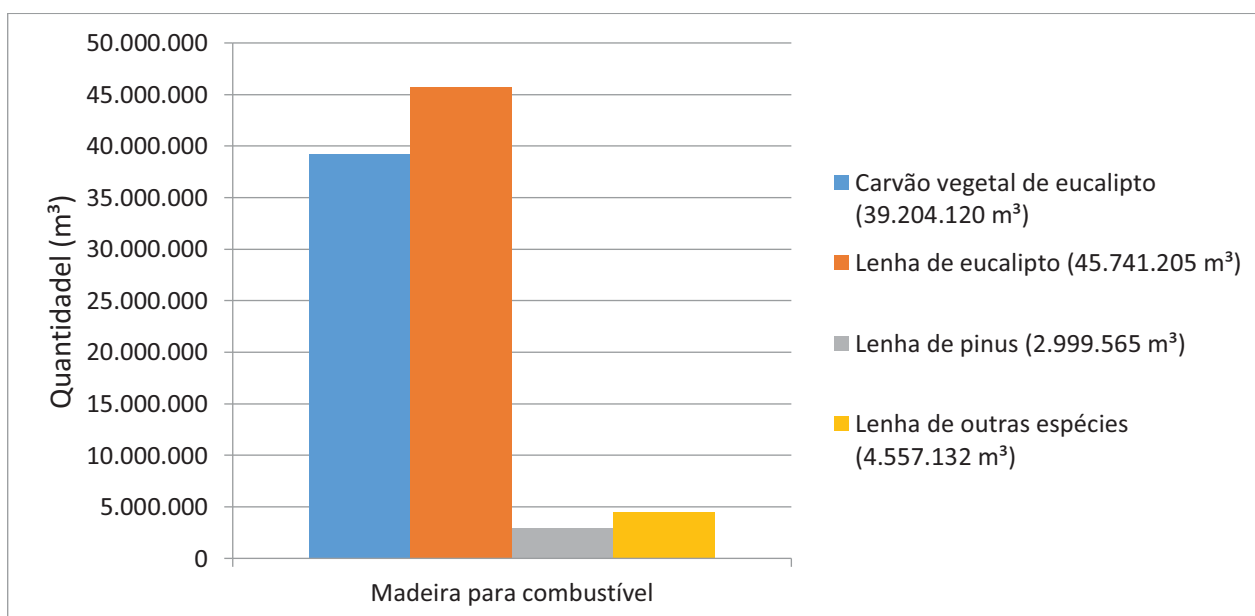
FONTE: SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (2017).

GRÁFICO 6: QUANTIDADE DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA DISPONIBILIZADA PARA INDÚSTRIA POR FINALIDADE E ESPÉCIE, ANO BASE 2016



FONTE: SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (2016).

GRÁFICO 7: QUANTIDADE DE MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA PARA COMBUSTÍVEL POR FINALIDADE E ESPÉCIE, ANO BASE 2016



FONTE: SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS (2016).

3.5 RESÍDUOS DE MADEIRA

O Brasil dispõe de um forte potencial florestal devido seu extenso território que possibilita um alto volume de produção de madeira. A cadeia produtiva da madeira gera uma grande quantidade de resíduos de biomassa florestal quando se considera todos os seus processos de transformação, e se não forem tratados corretamente, podem gerar diversos agravantes ambientais.

O aproveitamento da biomassa florestal, das operações de colheita até o beneficiamento em bens manufaturados, não é absoluto, com as sobras geradas na sua cadeia produtiva, assim definida como resíduos florestais (CANTO, 2009).

Os resíduos florestais são muito utilizados nos processos industriais como principal combustível em caldeiras de força que tem função de complementar a geração de vapor para produção de energia elétrica. Esses resíduos são constituídos pelo material orgânico que sobra na floresta após a colheita: sobras de toras, galhos, fustes, cascas, copas e raízes.

Os resíduos resultantes das operações de colheita florestal muitas vezes são deixados na floresta por não possuírem aproveitamento, como a parte superior da árvore, partes quebradas da árvore, toras que não atingiram dimensões mínimas de uso ou de valor comercial insuficiente que compense sua remoção.

FOTO 3: RESÍDUO DE OPERAÇÕES FLORESTAIS



FONTE: O AUTOR (2018).

Segundo Cardoso (2012), as árvores mais utilizadas em florestas plantadas são o pinus e o eucaliptos. O pinus é do gênero de plantas da família pinaceae e são árvores perenes presentes principalmente em climas temperados. Seus resíduos possuem poder calorífico inferior de 4174 Kcal/Kg e densidade de 350 Kg/m³. O eucalipto é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero Eucaliptos, pertencente à família das mirtáceas, que compreende outros 130 gêneros. Seus resíduos possuem poder calorífico inferior de 4024 Kcal/Kg e densidade de 374 Kg/m³.

Tanto os valores citados para o eucalipto quanto para o pinus consideram um teor de umidade em torno de 25%. Como se pode verificar através dos dados da TABELA 1, o eucaliptos é responsável por 81,6% da área total com florestas plantadas e o pinus é responsável por 17,2%, ficando 1,2% da área plantada para outros gêneros.

TABELA 1: TOTAL DE ÁREAS DE FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL POR GÊNERO E ESTADO (MIL E HECTARE)

Estados	Eucaliptos	Pinus	Outras	Total
Amapá	12	0	0	12
Bahia	499	28	0	527
Espírito Santo	171	0	0	171
Maranhão	47	0	0	47
Mato Grosso do Sul	155	0	0	155
Minas Gerais	220	0	2	222
Pará	49	0	0	49
Paraná	108	153	8	269
Piauí	1	0	0	1
Rio de Janeiro	3	0	0	3
Rio Grande do Sul	186	19	1	206
Santa Catarina	16	153	0	169
São Paulo	370	35	15	420
TOTAL	1837	388	26	2251

FONTE: BRACELPA (2010).

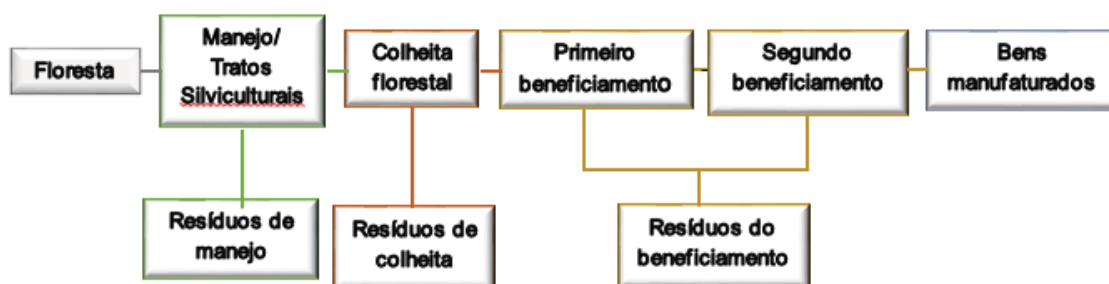
No Brasil, as indústrias madeireiras também são grandes geradoras de resíduos de materiais florestais. Juntamente com o reprocessamento e a utilização da madeira no meio urbano, através da construção civil, descarte de embalagens e poda da arborização urbana, acabam gerando um volume significativo de resíduos de madeira em pequenos e grandes centros urbanos do país. Tal fato se torna um problema ao identificar que apenas uma fração do volume desses resíduos possui algum tipo aproveitamento econômico, social ou ambiental (MMA, 2009).

Nos casos de excessiva geração resíduos de madeira e o baixo aproveitamento originam as problemáticas ambientais, visto que muitos desses resíduos são descartados em áreas não controladas. Cita-se ainda o prejuízo expressivo com a perda da oportunidade energética para o setor industrial, comunidades locais e remotas dependentes dessa fonte energética.

O processamento primário da madeira é compreendido como a extração da biomassa da floresta nativa ou do reflorestamento transformando-a em toras, assim gerando um desperdício de madeira na forma de resíduos. Nos plantios de pinus, cerca de 28% do peso total da árvore fica na floresta em forma de resíduos, no plantio de eucaliptos 22% se tornam resíduos. O processamento secundário se baseia na transformação das toras de madeira em placas, barras,

laminados, painéis, compensados, etc. Nesta etapa são geradas as maiores quantidades de resíduos, pois para cada tonelada de madeira bruta beneficiada, são gerados de 35% a 50% de resíduos. Por fim, na última etapa essa madeira processada é utilizada na montagem de móveis, construção civil, entre outras finalidades, o que também gera perdas nas operações de corte e acabamento (CARDOSO, 2012).

FLUXOGRAMA 1: GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA FLORESTAL



FONTE: CANTO (2009).

A fase de maior geração de resíduos ocorre no resultado direto da transformação da madeira maciça ou painéis de madeira nos bens de consumo. De acordo com suas características morfológicas podemos classificar os resíduos como cavacos (partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm, em geral provenientes do uso de picadores), maravalha (resíduo com mais de 2,5 mm), serragem (partículas de madeira provenientes do uso de serras, com dimensões entre 0,5 a 2,5 mm), e por fim, o pó (resíduos menores que 0,5 mm) (MENGATTO et al, 2004).

O tamanho e forma das partículas do combustível, neste caso os resíduos de madeira, influenciam a taxa de conversão energética durante a queima. Primeiro, as partículas com formas e tamanhos diferentes possuem diferentes superfícies de área por unidade de volume ou peso de combustível. Uma vez que as reações químicas ocorrem na superfície das partículas, a desuniformidade afeta negativamente a taxa de queima do material. Segundo, o tamanho e a forma da partículas do combustível determinam o fator do volume sólido, ou seja, a quantidade de espaços vazios por unidade de volume ou peso do material. Deste modo, a presença de oxigênio nesses espaços vazios

influencia positivamente a taxa de queima do combustível (POTTIE e GUIMIER, 1985) citado por (CANTO, 2009).

Segundo Brand et al (2014), a estocagem da madeira no processo de geração de energia na forma de toras ou árvores inteiras, promove alterações mais lentas nas propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa, porém de forma mais permanente. Além disso, as alterações desejadas como proveito do poder calorífico são mais rápidas, enquanto a perda de massa e a degradação química e biológica da biomassa são reduzidas. Lembrado que certos volumes de madeira para combustível precisam ser estocados na forma de partículas, atuando como estoque regulador.

Seja qual for à fonte, o material disponível de biomassa florestal terá várias formas e tamanhos. A forma mais comum de armazenamento, principalmente na indústria, consisti em cavacos. Assim, o tamanho das partículas tem grande influência sobre a velocidade e intensidade das alterações ocorridas nas propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa ao longo do tempo de estocagem. Essas variações são mais intensas e rápidas em partículas menores (cavacos), em comparação com a biomassa de maiores dimensões (toras e árvores inteiras) (BRAND et al. 2014).

Os sistemas de cavaqueamento por picadores florestais são usados para redução da madeira em partículas menores, possibilitando o aproveitamento de materiais rejeitados. A transformação da biomassa em cavacos promove a homogeneização do material combustível, antecipa o tempo de secagem da biomassa florestal, preparando para a conversão energética, tornando-a mais adequada ao consumo industrial. Além de resolver os problemas de manuseio, estoque e o transporte final da biomassa.

FOTO 4: CAVAQUEAMENTO DA BIOMASSA FLORESTAL



FONTE: PAINEL FLORESTAL (2014).

Segundo o Portal das Energias Renováveis (2017), o uso do pellet também se torna uma maneira de viabilizar o uso de rejeitos de biomassa florestal para finalidade energética, pois se constitui de uma forma mecanicamente estável de pó e serragem de madeira compactada. A transformação da biomassa em pellet permite um aumento da eficiência de muitos processos, como aumento do fluxo favorável e melhoria de propriedades de combustão, no que concede uma elevada capacidade energética, permitindo que os sistemas de aquecimento alcancem autonomias equivalentes a sistemas com fontes de energia fóssil. Os pellets tem a vantagem do tamanho normalizado o que permite o fabrico de caldeiras de biomassa. Estes produtos podem ser transportados com mecanismos convencionais como transportadores em parafuso, maneira mais confiável e de baixo custo.

FOTO 5: PALLETS

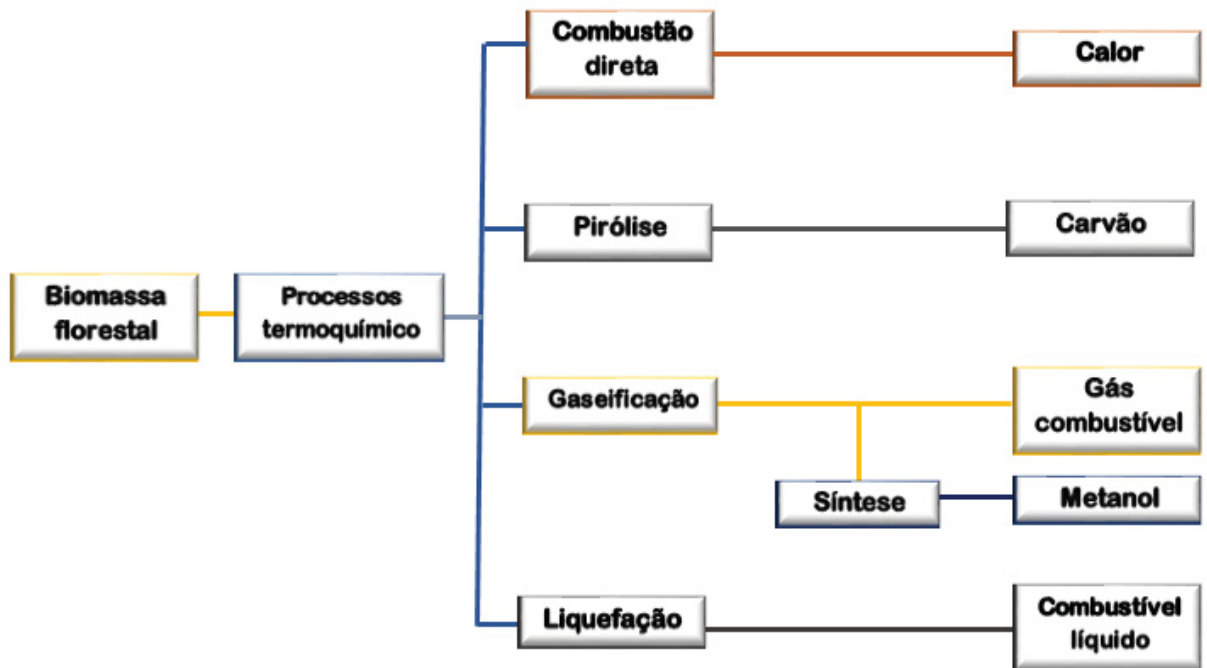


FONTE: PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS (2017).

3.6 PROCESSOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA

Os métodos disponíveis para produção de energia a partir da biomassa florestal podem ser divididos em dois grupos. Primeiro são os que fazem uso da biomassa como recurso energético primário, ou seja, a partir de sua combustão direta. Segundo são aqueles que fazem o uso de combustíveis derivados através de processos termoquímicos (pirólise, gaseificação ou liquefação) ou biológicos.

FLUXOGRAMA 2: PROCESSOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS EM PROCESSOS TERMOQUÍMICOS



FONTE: O AUTOR (2018).

3.6.1 Combustão direta

Uma das formas mais antigas de se obter a liberação da energia contida em um combustível é pela sua queima ou combustão. A combustão consiste na oxidação rápida e enérgica da matéria de um combustível, com liberação para aproveitamento da quase totalidade de sua energia.

Cardoso (2012) cita que neste processo é provida uma quantidade suficiente de oxigênio para se conseguir a combustão completa da biomassa. Como produto dessa queima origina-se um gás de combustão com elevada temperatura composto principalmente por dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e nitrogênio (N_2).

A Combustão direta é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para os objetivos energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia) e caldeiras (geração de vapor). Apesar da combustão direta se tornar um processo prático

e conveniente, pode ser normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade (20% ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do material combustível (lenha), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2005).

Para Brito (1986) citado por Canto (2009) a umidade é o fator que exerce maior influência sobre o uso da madeira (biomassa florestal) para energia. A presença de água no material combustível representa poder calorífico negativo, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água, ou seja, antes de acontecer a combustão, a água precisa evaporar. Além disso, se o conteúdo da água for muito variável, pode dificultar o processo de combustão, havendo necessidades de constantes ajustes nos sistemas.

O processo de conversão da biomassa florestal em energia passa primeiro pelo recolhimento dos vários resíduos que a mesma é composta, geralmente são as sobras de processos de conversão da madeira, seguido do transporte para os locais de consumo, onde se tem a necessidade do aproveitamento energético. O processo mais comum é a combustão, tanto para a produção de calor, como para a produção de energia elétrica, através da conversão termoquímica, neste último caso habitualmente em sistemas de cogeração.

A cogeração consiste basicamente na produção combinada de energia térmica e elétrica num mesmo equipamento, destinando-se ambas ao autoconsumo ou ao consumo de terceiros, evitando ou atenuando a utilização de equipamentos próprios de produção de calor e aquisição de energia elétrica à rede.

No setor industrial, geralmente a combustão direta da biomassa florestal ocorre em caldeiras nas instalações baseadas em ciclos de potência a vapor, com queima exclusiva ou queima da biomassa junta com outro combustível. Nesse ciclo, uma caldeira com uma fonte de energia gera vapor em alta pressão, com temperatura superior ao ponto de ebulição da água. A liberação do vapor ocorre através de sistemas mecânicos, movimentando máquinas, transferindo calor para processos industriais, ou movimentando turbinas para gerar energia elétrica. O ciclo se completa com o retorno do vapor condensado à caldeira, para ser novamente aquecido (CANTO, 2009).

Praticamente as empresas e fábricas processadoras de madeira dos segmentos de celulose, papel, madeira serrada, compensado, painéis, no Brasil possuem um processo fabril que depende da utilização de vapor, e por isso podem se beneficiar da cogeração de energia utilizando resíduos de madeira, matéria-prima de seus processos. Geralmente este vapor é gerado a partir da queima em caldeira de resíduos de biomassa disponíveis na planta industrial, na forma de cavaco, serragem, resíduos florestais, recortes de painéis (MMA, 2009).

3.6.2 Pirólise

A pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível, normalmente lenha, em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão). O processo incide em aquecer o material, normalmente entre 300°C e 500°C, na quase ausência de oxigênio, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso (ANEEL, 2005).

Cardoso (2012) define o processo de pirólise como o aquecimento da biomassa a temperaturas relativamente baixas, comparadas ao processo de combustão, em uma atmosfera com pouquíssima ou nenhuma presença de ar, resultando em um composto sólido rico em carbono e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis. Através do gradativo aumento da temperatura ocorre a degradação do insumo energético utilizado no processo, tendo como resultados combustíveis sólidos, como o carvão vegetal; líquidos, como o óleo pirolítico; e gasosos, como o gás pirolítico.

A pirólise é a etapa inicial do processo de carbonização e gaseificação, onde segue a oxidação total ou parcial da biomassa. A relação entre a quantidade de biomassa e de cada produto varia de acordo com as características do processo e umidade do material de origem. O rendimento de cada produto depende essencialmente do período de aquecimento e da

temperatura. O processo, que é realizado com temperatura mais baixa e maior período de residência, favorece a produção de carvão. Alta temperatura e longo período de residência aumentam a conversão da biomassa em gás. Em contra partida, temperatura moderada e curto período de residência favorecem a produção de líquidos (CANTO, 2009).

Nos processos mais sofisticados, costuma-se controlar a temperatura e coletar o material volátil, visando melhorar a qualidade do combustível gerado e o aproveitamento dos resíduos. Nesse caso, a proporção de carvão pode chegar a 30% do material de origem. Embora necessite de tratamento prévio (redução da acidez), o líquido produzido pode ser usado como óleo combustível (ANEEL, 2002)

A pirólise da madeira é o processo de carbonização para produção do carvão vegetal. A maior utilização da madeira pirolisada (carvão) está concentrada no setor siderúrgico, especialmente em Minas Gerais. Porém, devido à tecnologia avançada empregada por este segmento, a matéria prima precisa seguir especificações de densidade, dimensões e consequente homogeneidade que só é possível com a utilização de madeira em tora. Para atender a demanda nacional em larga escala por carvão vegetal esta madeira está distribuída entre florestas plantadas e nativas. No entanto, a produção de carvão para outras finalidades, como o uso doméstico não possui as mesmas restrições e permite a carbonização a partir de resíduos de madeira tais como: tocos, galhos e troncos de arborização urbana. Essa alternativa pode ser aplicada em condições específicas de consumo deste produto em regiões com maior desperdício de resíduos como é o caso da região Amazônica (MMA, 2009).

3.6.3 Gaseificação

Conforme o próprio termo aponta, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Existem diversos tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano,

dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se for usado o ar ou oxigênio na oxidação (ANEEL, 2005).

O processo de gaseificação é realizado através da injeção controlada de ar, oxigênio ou da mistura dos mesmos com vapor de água. A escolha do processo é baseada na finalidade do gás que será adquirido, sendo que o gás gerado da gaseificação com ar será de baixo poder calorífico, e o gás gerado através da injeção de oxigênio ou, a partir de uma mistura de gases, será de médio ou alto poder calorífico. A diferença verificada no poder calorífico destes processos se dá basicamente pelo teor de nitrogênio livre no gás gerado visto que a mistura gasosa de saída do reator, a partir da injeção de ar, contém em torno de 50% em volume de nitrogênio e, com a injeção de oxigênio puro ou misturas de oxigênio ou ar com vapor de água, este teor é nulo ou muito baixo (CARDOSO, 2012).

FLUXOGRAMA 3: ROTAS DE GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL BASEADA NO TIPO DE AGENTE GASEIFICANTE



FONTE: CARDOSO (2012).

O gás combustível resultante da gaseificação com injeção de ar que possui baixo poder calorífico (entre 4 e 7 MJ/Nm³), pode ser adequado para uso local, na queima direta em caldeira ou fornos, na alimentação de motores de combustão interna e turbinas. Entretanto, não é adequado para ser transportado ou para ser empregado como gás de síntese. Por sua vez, o gás combustível resultante da gaseificação com injeção de oxigênio ou vapor possui médio poder calorífico (entre 10 e 18 MJ/Nm³), podendo ser convertido em metanol, biocombustível altamente inflamável e bastante utilizado nas indústrias químicas por ser um importante solvente (PEREIRA JR, 2001).

Porém, a gaseificação de biomassa não é um processo recente. Atualmente esse interesse deve-se principalmente a limpeza e a versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos danosos ao meio ambiente e à saúde humana, entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna (ANEEL, 2005).

A gaseificação da madeira é uma alternativa apropriada de transformação energética de resíduos de biomassa florestal principalmente para localidades isoladas em zonas rurais, por ser uma fonte barata de geração de energia. No entanto, no meio urbano também possui uma tendência de sua utilização localidades com disponibilidade de madeira. No processo de gaseificação pode ser gerada tanto energia térmica quanto elétrica. O gás de biomassa gerado em gaseificadores pode ser utilizado para diversas finalidades, entre as quais a queima de resíduos em caldeiras para geração de vapor; queima em secadores para secagem de peças de cerâmicas; e queima em câmaras de combustão de motores de combustão interna, turbinas a gás e células combustíveis (MMA, 2009).

3.6.4 Liquefação

A transformação da biomassa ou combustíveis fósseis de carbono, em produtos predominantemente líquidos recebe o nome de liquefação. A liquefação pode ser definida como direta ou indireta. A forma indireta consiste em produzir a partir da biomassa o gás de síntese ($\text{CO} + \text{H}_2$) por processo de gaseificação, e posteriormente transformá-lo em metanol ou hidrocarboneto. Na liquefação direta ocorre a conversão completa da biomassa em combustíveis líquidos sem a existência do passo de gaseificação, geralmente em atmosfera redutora de hidrogênio ou mistura de hidrogênio e monóxido de carbono (BOYLES, 1984; SOLTES, 1986) citado por (COUTO, 2014).

Segundo Vianna et al (2000) citado por Canto (2009) a liquefação da biomassa é a obtenção de líquidos (óleos) oriundos de materiais lignocelulósicos. É um processo termoquímico para a obtenção de combustíveis líquidos, sendo realizado a baixas temperaturas, altas pressões e com catalisadores para acelerar a reação e/ou provocar a seletividade do processo. O produto líquido obtido possui maior qualidade do que o obtido mediante o processo de pirólise. Com a liquefação, podem-se obter combustíveis com poder calorífico entre 8.365 a 9.560 kcal/kg e com um conteúdo de oxigênio inferior a 15%. Porém, existe a necessidade de se trabalhar a altas pressões.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta deste trabalho teve o enfoque de incentivar o uso da biomassa florestal como fonte alternativa de energia no Brasil, utilizando conceitos de pesquisas bibliográficas para chegar a resultados satisfatórios, apontando suas vantagens socioambientais.

Como material de pesquisa foram analisados dissertações, estudos de casos e artigos científicos com objetivos relacionados o uso da biomassa florestal como fonte energética, energias renováveis, estratégias de manejo de florestas plantadas, reaproveitamento de resíduos de madeira.

No trabalho foi apresentado o balanço energético brasileiro disponibilizado pelo Ministério de Minas e Energia no ano 2016, retratando a participação das fontes renováveis, através de dados percentuais e gráficos, avaliando como esse setor vem crescendo no Brasil, com destaque o uso de biomassas vegetais.

Utilizaram-se dados do Sistema Nacional de informações Florestais para representações gráficas da participação da silvicultura e do extrativismo na produção de madeira para combustível e para indústria, por finalidades e por espécies.

5 RESULTADOS E DISCUÇÕES

Os combustíveis de origens fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral), além serem os maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, suas fontes não se renovam em curto prazo. A madeira oriunda de florestas plantadas é um importante auxílio no provimento das fontes renováveis, principalmente nos setor industrial, que demanda de amplo consumo de energia elétrica.

O Brasil se destaca mundialmente por deter maior parte das fontes de sua geração de energia elétrica oriundas de fontes renováveis, analisando os balanços energéticos disponibilizado no ano de 2016, pelo Ministério de Minas e Energia. E a biomassa em geral: madeira de florestas, resíduos agrícolas, e o bagaço da cana-de-açúcar contribuem de forma significativa para esse cenário.

O Brasil possui um extenso território permitindo um grande volume de produção de madeira. Essa atividade bem-sucedida gera uma grande quantidade de resíduos de biomassa florestal, quando se considera todas as suas fases de produção. São esses materiais são queimados em caldeiras para geração de energia a partir da combustão direta. Ainda, evitando problemas ambientais quando essa madeira não é tratada corretamente, e descartadas em áreas não controladas.

Define-se a produção de energia a partir da biomassa florestal compreende-se, primeiro, uso da biomassa florestal como recurso energético primário, a partir de sua combustão direta, que é a modificação da energia química do material combustível em calor. Segundo, são aqueles que fazem o uso de combustíveis derivados através de processos termoquímicos, definidos como: pirólise ou carbonização, gaseificação, e liquefação.

Resulta-se que as dimensões das partículas do combustível, neste caso os resíduos de madeira, influenciam a taxa de conversão energética durante a queima. É determinante a tese de POTTIE e GUIMER (1985) citado por CANTO (2009) que as partículas com formas e tamanhos diferentes possuem diferentes superfícies de área por unidade de volume ou peso de combustível, sendo que as reações químicas ocorrem na superfície das partículas, a desuniformidade afeta negativamente a taxa de queima do material. Então o tamanho e a forma das partículas do combustível determinam o fator do volume sólido, ou seja, a

quantidade de espaços vazios por unidade de volume ou peso do material. Deste modo, a presença de oxigênio nesses espaços vazios influencia positivamente a taxa de queima do combustível, assim fornecendo mais energia térmica em curto prazo no processo.

Define-se que para melhorar o aproveitamento da biomassa florestal durante a conversão energética, o material necessita passar por etapa de beneficiamento, ou seja, realizar a trituração do material para transformar os fragmentos em tamanhos uniformes e aumentar o número de superfícies em contato com oxigênio. Dessa forma facilitará a queima da biomassa disponibilizada, e agilizará o processo de geração de energia térmica.

Avalia-se que a energia adquirida a partir da biomassa florestal não agrava os problemas das mudanças climáticas e do aquecimento global. Soares (2006) define a vantagem da biomassa florestal, quando cultivada de forma sustentável, seu manejo e utilização não causam aumento de gás carbônico (CO_2) à atmosfera, tendo em vista que o CO_2 liberado na combustão é removido da atmosfera durante o processo de fotossíntese das florestas plantadas. O resultado é uma influência positiva no ciclo do carbono, ao contrário da queima combustíveis fósseis que levarão milhões de anos para se formar novamente.

Além disso, o cultivo em larga escala de florestas plantas, objetivando o uso da biomassa florestal para fins energéticos, promove o desenvolvimento sustentável de zonas rurais, onde as florestas são produzidas. E influencia as populações não se deslocarem para as áreas fortemente urbanizadas.

6 CONCLUSÕES

O uso da biomassa florestal como combustível na geração de energia é uma alternativa importante para o Brasil, devido suas condições de renovabilidade, e seu cultivo é favorável às condições naturais do país. No entanto, é necessário que os empreendedores do setor energético reconheçam mais a sua importância, e aumentem o fomento às pesquisas e incremento de projetos industriais de aproveitamento energético a partir da biomassa.

O consumo de energia está intensamente unido à necessidade de desenvolvimento da humanidade. Porém o esgotamento dos recursos naturais junto o crescimento populacional leva a uma procura por fontes de energia renováveis, assim, garantir o atendimento das necessidades das futuras gerações. A biomassa florestal apresenta-se como um combustível seguro, quando oriunda de florestas plantadas, porquanto não agrava no aumento de gases de efeito estufa, entendendo que o CO₂ liberado na combustão é capturado no processo de fotossíntese. Além disso, sua fonte se renova em curto prazo, ao contrário dos combustíveis de origem fósseis.

Os baixos custos para produção da biomassa florestal, observando que grande parte da aquisição desse combustível também advém de sobras de operações florestais e empresas beneficiadoras de madeira, apontam para a importância de pensar na utilização da madeira como fonte de energia. Ainda, mantendo o Brasil em posição privilegiada no cenário global como detentor de matriz de energia elétrica predominantemente renovável, atendendo às crises energéticas oriundas da diminuição dos níveis dos reservatórios de usinas hidrelétricas, sem partir para as fontes convencionais.

A origem da biomassa florestal deve ser a partir das florestas plantadas, dominantes no Brasil as espécies de eucaliptos e pinus, evitando o desmatamento ilegal dos remanescentes de vegetação nativa. Ao mesmo tempo, contribuir para geração de empregos e promover o desenvolvimento econômico de regiões pouco acessíveis e colaborando com a redução do êxodo rural.

Os processos industriais de conversão da biomassa florestal em energia incidem primeiro através da combustão direta, transformando a energia química do combustível em fluxo de energia térmica. Segundo, advém o uso do

combustível derivado, por meio de processos termoquímicos, sendo esses: pirólise ou carbonização, gaseificação, e liquefação.

O setor florestal brasileiro necessita de mais incentivos políticos para expandir suas áreas com florestas plantadas, assim, aperfeiçoaria as produções dos empreendedores rurais, o desenvolvimento econômico, e encerraria de vez com a exploração dos recursos naturais. E com o aumento da disponibilidade de madeira no mercado, estimular mais as indústrias a adotarem essa fonte de bioenergia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Biomassa**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acessado em 08/12/2017.

Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRASELPA). **Relatório de Sustentabilidade 2009**. Disponível em: <<http://static.globalreporting.org/report-pdfs/2010/>>. Acessado em 10/12/2017.

BRAND, M. A.; **Influência das dimensões da biomassa estocada de Pinus taeda L. E Eucalyptus dunnii Maiden na qualidade do combustível para geração de energia**. v.38, p.175-183, 2014.

CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 169f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

CARDOSO, B. M. **Uso da biomassa como alternativa energética**. 112f. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

COUTO, C. M. **Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de eucalyptus sp.** No Brasil. 169f. Dissertação (Pós Graduação em Ciências Florestais) Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

COUTO, C. M. **Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negrae eucalipto do Município de Pelotas - RS**. 56f. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2014.

DUPONT, F. H. et al. **Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável**. n.8, p. 1678-3867, 2006.

ELOY, E. et al. **Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação**. v.45, p.1424-1431, 2015.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco energético nacional**. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017>. Acessado em 25/09/2018.

FGV Direito Rio. **Carvão vegetal, siderurgia e o novo código florestal**. Disponível em: <<http://direitorio.fgv.br/noticia/carvao-vegetal-siderurgia-e-codigo-florestal>>. Acessado em: 02/05/2018.

FIALHO, J. T. et al. **Política florestal produtiva e a estrutura administrativa de inclusão das pequenas propriedades rurais na cadeia produtiva da madeira paranaense**. v.40, p. 871-888, 2010.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG). **Indústrias são maiores consumidoras de energia no Brasil**. Disponível em:

<<http://www.fapeg.go.gov.br/industrias-sao-maiores-consumidoras-de-energia-no-brasil>>. Acessado em 02/10/2017.

GOLDEMBERG, J. **Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia**. Revista Virtual de Química. v.9, p. 15-28, 2016.

MANZONI L. P.; BARROS T. D. **Madeira para energia**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore>>. Acesso em 16/11/2017.

MENGATTO, S. N. F. et al. **Indústria moveleira e resíduos sólidos**. Considerações para o Equilíbrio Ambiental. Revista Educação e Tecnologia. v.8, n. 1, p. 209 - 228, 2004.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501>. Acessado em 06/12/2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco energético nacional – ano base 2015**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>>. Acessado em 30/09/2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Biomassa é a segunda maior fonte de energia em 2016**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/biomassa-e-a-segunda-maior-fonte-de-energia-em-2016>>. Acesso em: 30/09/2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Participação de renováveis na matriz energética brasileira é três vezes superior ao indicador mundial**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/participacao-de-renovaveis-na-matriz-energetica-brasileira>>. Acessado em 30/09/2017.

MIRANDA, M. A. **potencial da biomassa florestal para produção de energia térmica industrial**. 61f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

MIRANDA, L. B. **Custos florestais: implantação de um sistema de custeio em uma propriedade rural, tendo como enfoque o controle dos custos incorridos em uma plantação de pinus taeda, situada na zona rural, da cidade de Sengés, estado do Paraná**. v.3, p. 110-129, 2016.

MOURA, D. C. **Competividade da lenha e do carvão vegetal na geração de energia e na produção de ferro gusa**. 96f. Dissertação (Pós Graduação em Administração – Estratégia Competitiva) - Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

OLIVEIRA, A. P.; MENDES, K. P. **Economia e os mercados florestais, diagnóstico preliminar e perspectivas do setor florestal na geração de energia do Brasil**. 39f. Dissertação (Concurso de Monografias III Prêmio Serviço

Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal). Salinas, 2016.

Painel florestal. **Confira as diferenças entre picadores a tambor e a disco.** Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/noticias/biomassa/confira-as-diferencas-entre-picadores-a-tambor-e-a-disco>. Acessado em: 12/07/2018.

PEREIRA JR, V.B. **Alternativas para cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibra de madeira.** Botucatu: UNESP, 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

PIERRE, L. **Energia da biomassa residual de aveia branca e soja em resposta ao sistema de preparo do solo e níveis de adubação.** 65f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

PER - Portal das Energias Renováveis. **Conversão: biomassa sólida.** Disponível em: http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.aspID_conteudo=2&ID_area=2&ID_sub_area=2. Acessado em 09/12/2017.

REMADE - Revista da Madeira. **Energia verde no aproveitamento da biomassa florestal.** Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php. Acessado em 12/11/2017.

SANTOS, R. C. et al. **Potencial energético da madeira de espécies oriundas do plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte - RS.** v. 23, p. 491-502, 2013.

SENAR. **O Brasil é um dos maiores produtores de florestas plantadas do mundo.** Disponível em: <http://www.senar.org.br/abcsenar/o-brasil-e-um-dos-maiores-produtores-de-florestas-plantadas-do-mundo/>. Acessado em 27/11/2017.

SILVAPLUS. **Biomassa florestal primária.** Disponível em: <http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria>. Acessado em 12/11/2017.

SILVEIRA, P. et al. **O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais.** v.38, n.1, 2014.

SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais. **Biomassa florestal para geração de energia renovável.** Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/noticias-do-sfb/biomassa-florestal-para-geracao-de-energia-renovavel>. Acessado em 12/11/2017.

SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais. **Produção florestal.** Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/consumo>. Acessado em 08/12/2017.

SOARES, T. S. et al. **Uso da biomassa florestal na geração de energia.** v.19, p. 70 – 81, 2015.

SOUZA, S. N. M.; SORDI, A.; OLIVA, C. A. **Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná** – 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 5f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2002.

TEIXEIRA, T. V. R. **Uso da madeira e derivados para energia no estado do Paraná**. 112f. Dissertação (Graduação em Engenharia Industrial da Madeira) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.