

RESÍDUOS DA BIOMASSA FLORESTAL COMO RECURSO ENERGÉTICO BRASILEIRO PARA INDÚSTRIAS DE PAPEL E CELULOSE

IRENE DOMENES ZAPPAROLI¹, ELIANE ARAUJO ROBUSTI²

Recebido em 17.02.2014 e aceito em 18.06.2015.

¹ Universidade Estadual de Londrina. E-mail: zapparoli@uel.br; ² Universidade Estadual de Londrina. E-mail: nirobusti21@yahoo.com.br

RESUMO: Este artigo segue uma linha de revisão bibliográfica, buscando argumentos que fortaleçam o uso da biomassa florestal, desde que obtidas da prática de manejo consciente, seja ela fonte principal ou do uso de seus resíduos como opção na geração de energia. Para isso, é utilizada a metodologia de pesquisa explicativa, sendo bibliográfica e documental por meio de livros, artigos e sites, além de dados coletados de órgãos governamentais. Através da atual situação de extinção das florestas brasileiras é necessário buscar um caminho para frear o processo de desmatamento e os efeitos do aquecimento global. O manejo florestal apresenta-se como solução a esses problemas e estimula a silvicultura, gerando recursos por meio de práticas lucrativas como comércio de produtos florestais e não florestais, mercado de ativos ambientais e disposição de matéria-prima para geração de bioenergia. No que diz respeito a geração de energia, várias são as rotas tecnológicas e muitas em processo de evolução, mas com destaque especial para os processos de co-geração, que ligados a indústrias de papel e celulose, sendo geradoras, distribuidoras e consumidoras dessa energia, adotam uma opção ambientalmente correta e economicamente favorável, agregando valor aos resíduos florestais.

Palavras-chave: Resíduos florestais, rotas energéticas, cogeração, bioenergia.

RESIDUES OF THE FOREST BIOMASS AS BRAZILIAN ENERGY RESOURCE FOR PAPER INDUSTRIES AND CELLULOSE

ABSTRACT: This paper follows a line of literature review, looking for arguments that strengthen the use of forest biomass, since it obtained the conscious practice of management, whether principal or the use of waste materials as an option for power generation source. For this, the methodology of explanatory research with bibliographical and documentary through books, articles and websites is used in addition to data collected from government agencies. Through the current situation of extinction of Brazilian forests is necessary to seek a path to slow down the process of deforestation and the effects of global warming. Forest management is presented as a solution to these problems and encourages forestry, generating resources through practices such as lucrative trade in forest products and non-forest, environmental assets and market provision of feedstock for bioenergy generation. Regarding power generation ago, there are several technological and many routes in the process of evolution, but with special emphasis on the processes of co-generation, connected to the pulp and paper industries, with generators, distributors and consumers of this energy, adopt an environmentally and economically favorable option, adding value to forest waste.

Key words: Forest residues, energy routes, cogeneration, bioenergy.

INTRODUÇÃO

Unir eficiência econômica e social associada à preservação ambiental tem sido uma tarefa difícil, visto que muitas vezes existem conflitos de interesses que permeiam essa questão. Quando se trata de preservação florestal também se encontram barreiras culturais que impedem uma visão crítica da realidade. Durante décadas o desmatamento foi estimulado pela

corrida agrícola no Brasil e destruiu grande parte das florestas naturais.

Hoje a situação começa a mudar, a possibilidade de um manejo florestal sustentável vem ganhando argumentos positivos no que diz respeito a emissões de gases que causam o chamado efeito estufa com graves consequências ambientais sentidas mundialmente. Neste sentido, o manejo adequado pode trazer valores comerciais, envolvendo o mercado interno e

externo, que vão desde comercialização de ativos ambientais em bolsas de valores, comercialização dos produtos florestais. Há também a geração de bioenergia através da biomassa, inclusive proveniente de resíduos do processo silvicultural descartados e anteriormente sem valor. Esse movimento dá valor econômico à floresta incentivando sua manutenção.

Outro problema atual é a acumulação de resíduos em todas as categorias de produtos, mas com a aplicação de subprodutos florestais e agroindustriais nos processos produtivos de bioenergia, além de resolver esse problema de acumulação e descarte indevido de resíduos, ainda se reduz custos quando aplicado como matéria-prima na geração de energia elétrica, co-geração de energia nas indústrias de papel e celulose e produção de biocombustível.

O objetivo geral desta revisão de literatura consiste em buscar argumentos que fortaleçam o uso da biomassa florestal, sendo esse resíduo ou formação de florestas energéticas, como opção para geração de bioenergia. Também são abordadas possíveis rotas tecnológicas e questões técnicas como poder calorífico dessa biomassa que se enquadra nos sistemas dendroenergéticos.

Procura-se demonstrar a situação das florestas brasileiras e suas possibilidades de retorno financeiro na co-geração de energia, principalmente na indústria de papel e celulose, grande geradora de resíduos florestais e potencial consumidora de energia.

Para isso, é utilizada a metodologia de pesquisa explicativa, sendo bibliográfica e documental por meio de livros, periódicos e sites, além de dados coletados de órgãos governamentais. Através da atual situação de extinção das florestas brasileiras é necessário buscar um caminho para frear o processo de desmatamento e os seus efeitos sobre o aquecimento global.

MATERIAL E MÉTODOS

Manejo Florestal. A relação entre gestão ambiental de empreendimentos energéticos e inovação tecnológica é intensa. A primeira utiliza-se da segunda na busca de soluções aos problemas ambientais causados pelos sistemas energéticos. Os processos de inovação tecnológica e de gestão contribuem de forma significativa na mitigação dos impactos ambientais (Avignon, 2010).

Como guia das novas políticas ambientais, o Protocolo de Kyoto, assinado por diversos

países, estabelece como principal meta a redução de emissões de dióxido de carbono e nesta direção, cumprem um papel destacado os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), visando incentivar os investimentos em projetos de tecnologias limpas que diminuam as emissões nos países em desenvolvimento e que tais reduções sejam abatidas das metas estabelecidas para os países desenvolvidos pelo Protocolo de Kyoto. (Pinto Junior et al., 2007). Segundo o autor, esse tipo de instrumento, chamado de “créditos de carbono”, tem como ponto de partida o princípio básico de que o efeito estufa impõe a necessidade de incorporar na agenda política um conjunto de ações com relação ao meio ambiente que transcendam a escala local.

Nesta corrida contra o aquecimento global, a atenção é voltada à diminuição de Gases do Efeito Estufa (GEE) e as florestas têm papel fundamental no sequestro de carbono, atuando como ferramenta de controle dos impactos ambientais. De acordo com relatório *Leveraging the Landscapeto State of the Forest Carbon Markets* (2012), o valor do mercado chegou a US\$ 237 milhões, mas volume de transações diminuiu 22% em relação aos níveis de 2010 para 26MtCO₂e (mega toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente). Esse relatório une dados de 451 projetos individuais de carbono florestal envolvendo quatro tipos de projetos: Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD - *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), Aflorestamento/ Reflorestamento (A/R - *Afforestation and Reforestation*), Melhoria do Manejo Florestal (IFM - *Improved Forest Management*) foi aprovada para ser utilizada sob o *Voluntary Carbon Standard* (VCS), e Uso Sustentável de Terras Agrícolas (SALM) segundo Lipinski (2012; MMA, 2014).

A redução das florestas também compromete a biodiversidade brasileira e nesse sentido a sua diminuição nos biomas brasileiros traz graves consequências nos segmentos agricultura, silvicultura, pesca, turismo, dentre outras atividades. No caso da agricultura são pouco estudados os impactos da redução da biodiversidade, mas ela compromete a identificação de novas espécies de plantas e de variedades potencialmente cultiváveis, para fins medicinais, alimentícios, industriais, etc. O somatório desses problemas

provoca impactos incalculáveis na economia do país (Veiga & Eilers, 2010).

Uma importante ferramenta para a manutenção das florestas é o manejo florestal, que conforme definição do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2013), é a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos sociais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema. O Portal Nacional de Gestão Florestal (2013) define que a avaliação de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), em área privada, tem início após a emissão da Autorização Prévia a Análise Técnica (APAT) do plano de manejo. O Plano Operacional Anual (POA) deve atender a periodicidade anual. Os trabalhos ainda devem receber vistorias técnicas do IBAMA ou órgãos ambientais competentes.

Para um bom manejo florestal deve ser elaborado um plano com pensamentos voltados para o objetivo do empreendimento. No manejo florestal, o objetivo do empreendimento determina os regimes a serem adotados. A obtenção de diversos produtos (toras) ao longo da vida de um povoamento florestal depende da série de operações realizadas na floresta como, por exemplo: escolha da espécie e procedência para o local; espaçamento inicial; tratamento silvicultural (seleção de mudas, plantio, adubação, manutenção, etc); desbastes; podas (Scolforo et al., 1997).

A cadeia produtiva do setor florestal é extensa envolvendo desde sementes e mudas, incluindo produtos madeireiros e não madeireiros comercializados no mercado interno e externo, conforme o fluxograma 1 disponibilizado pelo “Programa Nacional de Energia 2030” (2007).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Florestas), associada a quatro instituições: Secretaria do Estado do Planejamento e Coordenação Geral; Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA); Empresa Brasileira de Assistência Técnica de Extensão Rural do Paraná (EMATER-PR); e o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), apresentaram o “Programa Paraná – Biodiversidade”. O programa consiste na implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no estado do Paraná, sendo um modelo para a conservação ambiental, com inclusão social e viabilidade econômica. O objetivo é a reconstituição da cobertura florestal nativa, o estabelecimento de reservas legais e a

formação de bancos de germoplasma de espécies florestais nativas da região.

Em termos sociais e econômicos, os produtores poderão ter melhoria na qualidade de vida com a geração de renda. Incremento de receita pela geração do crédito de carbono, da venda de madeira dos desbastes e colheita final, bem como de sementes de espécies nativas coletadas nos bancos de germoplasma (Schaitza et al., 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Silvicultura. Normalmente as áreas de florestamento comercial no Brasil são compostas por duas espécies dominantes, sendo essas *Pinus* e *Eucalyptus*. E a aceitação comercial para essa madeira é satisfatória. Referente ao consumo de madeira em tora dos plantios florestais envolvendo *Pinus*, *Eucalyptus* e outras espécies, em 2012, o valor foi de 182,4 milhões de metros cúbicos (m³), mostrando um crescimento de 7,2% em relação a 2011 (ABRAF, 2013).

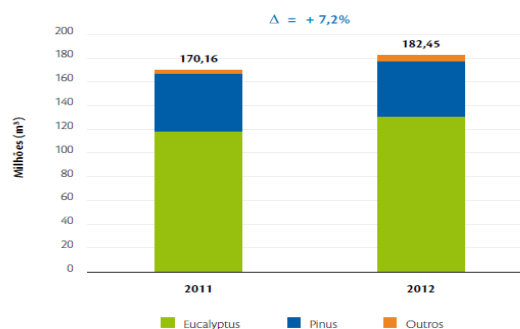


Gráfico 1. Consumo brasileiro de madeira em tora para uso industrial por gênero, 2011- 2012. Fonte: ABRAF, 2013.

A espécie *Pinus* tem uma produção possível de mais de 30m³/ha/ano e o *Eucalyptus* representa mais de 60m³/ha/ano com área ocupada por plantios florestais que somam 6.664.812 ha, com 76,6% de *Eucalyptus* e 23,4% de plantios de *Pinus*, segundo o Anuário da ABRAF (2013).

O Anuário da ABRAF (2013), também calcula uma estimativa de produção sustentada por região no ano de 2012, com destaques para a região Sudeste e Sul.

Um bom indicador de desempenho econômico do setor de florestas plantadas é o Valor Bruto da Produção Florestal (VBPF),

calculado a partir da multiplicação de preço dos produtos florestais pela quantidade produzida. O VBPF estimado para florestas plantadas, em 2012, correspondeu a 56,3 bilhões de Reais, 4,6% maior que 2011 (ABRAF, 2013).



Gráfico 2. Distribuição da área de plantios florestais no Brasil por gênero, 2012. Fonte: ABRAF, 2013.

Na tendência atual parte dessas plantações de florestas é utilizada para obtenção de multiprodutos. No qual do fuste de uma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos. Esta é, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais (Soares et al., 2003).

Nesse contexto, segundo Soares (2003), pode-se perceber que existe uma tendência entre as empresas florestais brasileiras de se estruturarem operacional e administrativamente. Nesse sistema de produção adota-se uma metodologia gerencial mais moderna, com o uso de novas tecnologias que permitem seu desenvolvimento e maior retorno financeiro.

O setor florestal também contribui socialmente, por meio da geração de empregos diretos e indiretos, segundo Tabela 2.

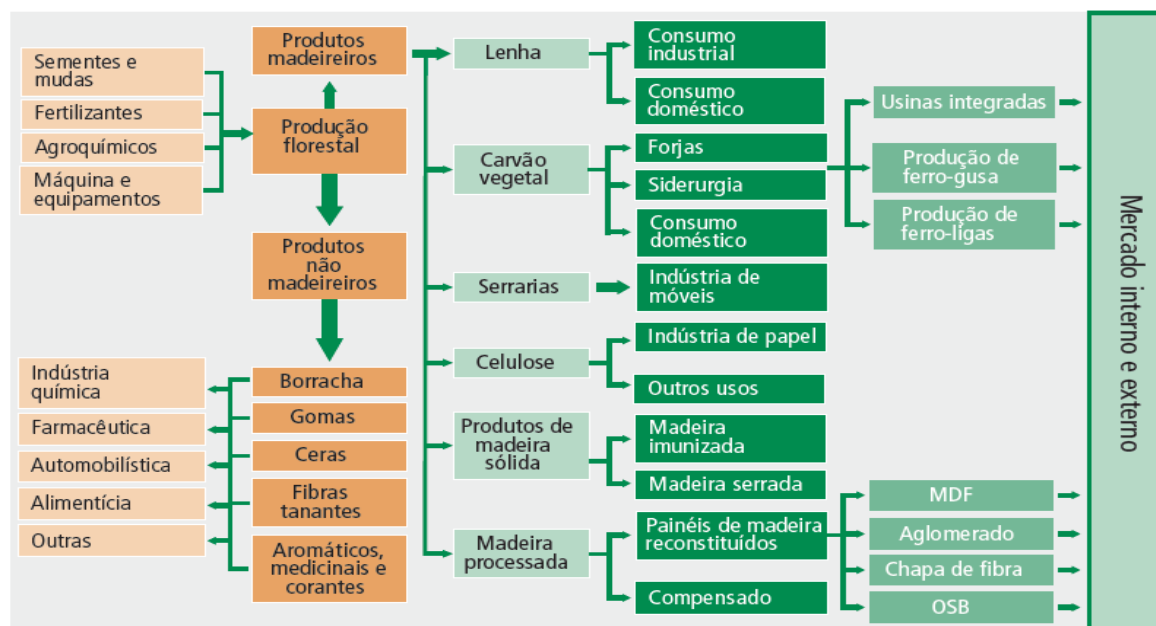
Quanto aos recursos financeiros disponíveis no Brasil para a formação e conservação de florestas, em geral da iniciativa pública, são geridos pelo Banco do Brasil (BB) e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, sendo o principal agente (ABRAF, 2013).

Incluindo programas, fundos e linhas de financiamento do BNDES investidos no setor florestal, o valor disponibilizado foi de 533 milhões de Reais (ABRAF, 2013). No gráfico 4 é possível observar a evolução ao longo dos anos relacionados a esses recursos.

Biomassa para geração de energia. A tendência é que os valores disponibilizados para a silvicultura continuem crescendo, visto que a consciência ambiental passa por uma crescente mundial. Uma tendência são as energias renováveis e nelas se inclui a biomassa florestal. A substituição de combustíveis fósseis por fontes alternativas de energia renovável tem se apresentado como uma forma promissora de reduzir as emissões de GEE's oriundas de atividades antrópicas. Outra maneira de reduzir a concentração de GEE na atmosfera é o sequestro e armazenamento de carbono na biomassa florestal, por meio de recomposição e plantio de florestas. Entre as fontes renováveis de energia estão a biomassa, nas formas sólida e líquida, os biogases, a energia hidroelétrica e a eólica (Moreira, 2011).

Pode ser considerado biomassa todo recurso renovável que provém de matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, tendo por objetivo principal a produção de energia. Uma das principais vantagens da biomassa é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por meio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para que seja aumentada a eficiência e sejam reduzidos os impactos socioambientais no processo de sua produção, porém, estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas tecnologias de conversão mais eficientes como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (Brasil, MMA, 2014).

Entre as possibilidades de utilização de biomassa, se inclui as práticas de silvicultura e seus resíduos. O Brasil conta atualmente com a Lei de nº 12.305, 02 de agosto de 2010, para regular a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). No PNRS o Artigo 13, prevê a classificação dos resíduos agrossilvopastoris (os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades) e os industriais (os gerados nos processos produtivos e instalações industriais), que devem seguir normas de reuso e/ou descarte. O governo também estabelece, na mesma lei, que o poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para, por exemplo, estimular a prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo como descrito no Artigo 42.



Fluxograma 1. Cadeia produtiva do setor florestal, Brasil, 2013. Fonte: MME: EPE, PNE 2030 (2007).

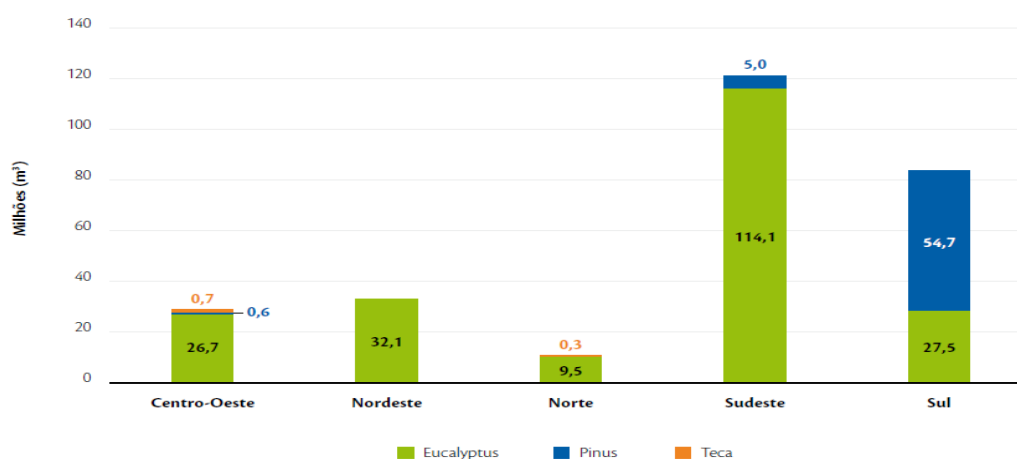


Gráfico 3. Estimativa de produção sustentada dos plantios de *Eucalyptus*, *Pinus* e *Teca* por região, 2012. Fonte: ABRAF, 2013.

Tabela 1. Estimativa do VBPF, principais segmentos associados ao setor de florestas plantadas, 2011-2012

Segmento	Valor Bruto da Produção Florestal (BRL Bilhões)			
	2011	%	2012	%
Celulose e Papel	30,8	57,3	30,2	53,7
Painéis Madeira Industrializada	5,3	9,9	6,5	11,6
Siderurgia a Carvão Vegetal	2,2	4,1	2,3	4,1
Madeira Mecanicamente Processada	5,2	9,6	5,8	10,3
Móveis	10,3	19,1	11,4	20,3
Total	53,8	100	56,3	100

Fonte: ABRAF, 2013.

A disponibilidade de resíduos a serem aproveitados está contida no Plano Nacional de Energia 2030 (2007), disponível no Ministério de Minas e Energia em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Esse Plano apresenta as estimativas de produção e oferta de resíduos de biomassa como fonte de energia primária, quantificada em milhões de toneladas de biomassa em base seca por ano, oferta mássica por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural, no Brasil, em 2005, e projeções para os anos seguintes conforme Tabela 3.

A biomassa é classificada como recurso energético nas categorias de biomassa energética florestal, seus produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética agrícola, as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos (Brasil. MME. EPE, PNE 2030, 2007).

Referente à biomassa florestal, é importante mencionar as variações na composição química da madeira, ou seja, na proporção de holocelulose (hemicelulose e celulose), lignina, extrativos e cinzas. Assim como as mudanças na conformação anatômica e nas características físicas, especialmente na densidade, influenciam sobremaneira as propriedades energéticas dos resíduos gerados ao longo do processo de industrialização das toras (Furtado et al., 2012).

As características utilizadas para qualificar energeticamente um material são teor de umidade (TU), teor de cinzas (TC) e poder calorífico superior (PCS). O TU, dado em porcentagem (%), expressa a quantidade de água presente no material em relação a seu peso total. Por fim, o TC, também expresso em porcentagem, representa o conteúdo de material inorgânico presente na madeira. O PCS é dado em calorias por grama (cal/g) ou quilocaloria por quilograma (kcal/kg) e expressa a quantidade de energia liberada por unidade de massa do combustível, considerando que o material está completamente seco e as condições de queima são ideais, sendo influenciadas exclusivamente pela composição química do material. Já o poder calorífico líquido (PCL) é a quantidade de energia útil gerada na combustão do material, sendo determinado a partir do PCS e influenciado pelo TC e pelo TU do material no momento da queima. (Furtado et al., 2012).

Esses dados químicos são importantes para a análise da eficiência energética e servem de parâmetros para comparações entre diferentes

biomassas. Em termos energéticos, as participações relativas das biomassas variam pouco, uma vez que o quantitativo mássico foi referenciado à base seca da biomassa, e, portanto quantifica um poder calorífico equivalente para as matérias celulósicas em geral. Estes valores sofrem alterações significativas em função de seu teor de umidade, cujo impacto fundamental ocorre sobre as opções de preparo, transporte e custo (Brasil. MME. EPE, PNE 2030, 2007).

Por sua vez, os resíduos agroindustriais encontram-se concentrados em unidades industriais, como usinas de etanol e açúcar e unidades de produção de celulose. A maximização do aproveitamento de seu conteúdo energético depende de tecnologia industrial de minimização de consumo energético dos processos produtivos e de tecnologia de geração termelétrica de maior eficiência (Brasil. MME. EPE, PNE 2030, 2007).

Conversão da Biomassa em Energia. A associação da energia da madeira ao primitivismo moldou a ideia de que a energia da madeira dispensa regulamentos ou normas, semelhantes às definidas para a gasolina, diesel, etanol, energia elétrica etc. Essa associação prejudicou o desenvolvimento de uma política energética para a madeira e resíduos de biomassa, importantes fontes renováveis e competitivas (Hollanda, 2013).

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 (Brito, 2007).

Hoje existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequena e grande escalas. Elas incluem gaseificação, métodos de produção de calor e eletricidade (cogeração), recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes (etanol e biodiesel) (Goldemberg, 2009).

Tabela 2. Estimativa do número de empregos e efeito-renda mantidos pelos segmentos associados às florestas plantadas no Brasil, 2012

Segmento	Geração de Empregos - Setor de Florestas Plantadas			
	Diretos	Indiretos	Efeito Renda	Total
Silvicultura	139.614	569.194	365.143	1.073.951
Siderurgia a Carvão Vegetal	14.956	157.036	575.797	747.789
Madeira	196.526	147.395	270.224	614.145
Móveis	113.418	85.064	155.950	354.432
Celulose e Papel	156.988	361.073	1.051.821	1.569.882
Total	621.502	1.319.762	2.418.935	4.360.199

Fonte: ABRAF, 2013.

PRODUTOS: Definem as regras gerais de condições financeiras e procedimentos operacionais do financiamento de longo prazo.

LINHAS DE FINANCIAMENTO: Destinam-se a setores e empreendimentos específicos, com regras particulares, mais adequadas aos objetivos da linha.

BNDES Florestal

BNDES Meio Ambiente

PROGRAMAS: Possuem caráter mais transitório em relação aos Produtos, com uma dotação orçamentária limitada e um prazo de vigência definidos.

PRONAF Investimento

Programa Moderagro

Programa ABC

FUNDOS: São recursos estatutários ou legais, com condições e procedimentos operacionais específicos.

Fundo Clima Carvão Vegetal

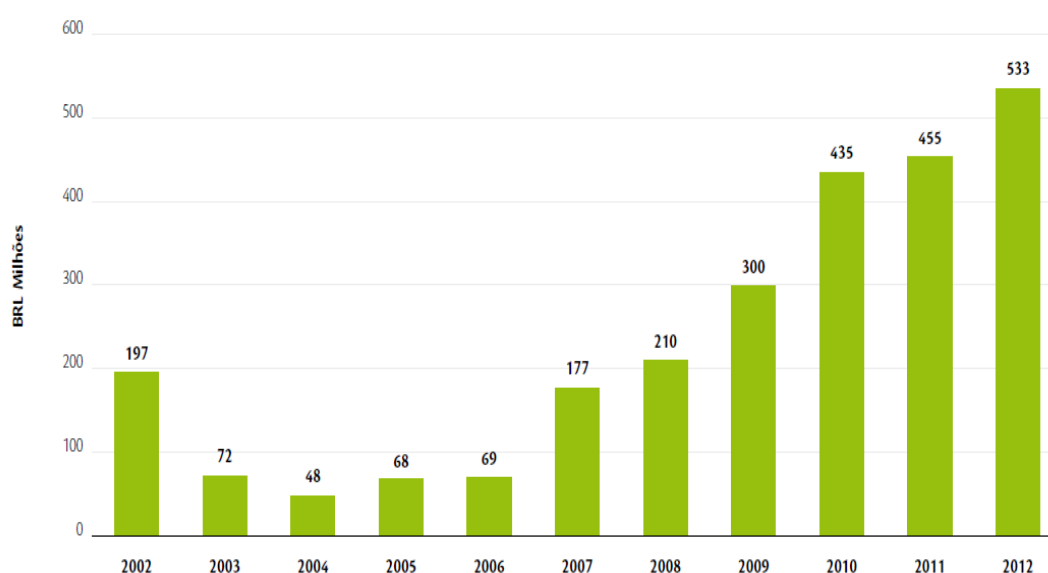
Quadro 1. Modalidades Financeiras Disponibilizadas pelo BNDES, 2012. Fonte: BNDES, 2012.**Gráfico 4.** Evolução dos desembolsos em programas, fundos e linhas de financiamento do BNDES para o setor florestal. Fonte: BNDES, 2012.

Tabela 3. Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural, Brasil (10⁶ t/ano)

	2010	2015	2020	2030
Total	731	898	1058	1402
Resíduos Agrícolas	633	768	904	1196
Soja	251	302	359	482
Milho	251	304	361	485
Arroz (palha)	59	62	66	69
Cana-de-açúcar (palha)	73	100	119	160
Resíduos Agroindustriais	98	130	154	207
Cana-de-açúcar (bagaço)	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	3	3	3
Lixívia	17	21	25	34
Madeira	8	10	12	16
Florestas Energéticas	30	31	43	46
Madeira excedente	30	31	43	46

Fonte: Brasil. MME. EPE, PNE 2030, 2007.

Hoje as chamadas tecnologias mais limpas indicam uma possível alternativa para a atual estrutura de geração e consumo de energia que ameaça a qualidade de vida no planeta (Avignon, 2010).

Ressalta-se que os sistemas de gaseificação da biomassa se encontram ainda em estágio experimental. As centrais denominadas centrais de gaseificação a ciclo combinado com gaseificação integrada (CCGI) alimentadas por biomassa fazem a sua entrada no mercado oferecendo desempenhos técnicos e econômicos promissores (Couto, 2013). Na Figura 1 identifica-se as várias fontes de biomassa e o processo de conversão correto, se tem alternativas energéticas múltiplas.

As três principais rotas tecnológicas de conversão da biomassa energética disponíveis são: Conversão termoquímica: que inclui a combustão direta, a gaseificação e a pirólise; Conversão bioquímica: que inclui a digestão anaeróbica, a fermentação/destilação e a hidrólise; Conversão físico-química: que inclui a compressão, extração e esterificação (Brasil. MME. PNE 2030, 2007).

Em relação às termoeletricas, os processos produtivos envolvidos na silvicultura e extrativismo vegetal geram resíduos e parte pode ser empregada como combustíveis. Porém existe a necessidade de avaliações e análises, já que existem poucos estudos referentes ao processo de utilização de biomassa para energia, e isso inclui os resíduos madeiros (PNE 2030, 2007).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (Brasil. MME. BEN, 2013), com ano

base de 2012, a maior produção de energia oriunda de termoeletrica se concentra na região sudeste com 40,8% do total produzido no país. É considerável a quantidade de lenha e carvão na oferta interna de energia, sendo essa oriunda de termoeletricas. Em relação à capacidade instalada (MW), em 2012, a energia térmica foi responsável por 27,09% da capacidade, quando comparada a hidroeletricas, eólicas e nucleares, apresentando pequeno crescimento entre 2011 e 2012. Em relação à participação total de geração de energia elétrica, a termoeletrica foi responsável por 23,9% em 2012 (Ben, 2013).

Tabela 4. Participação de cada fonte termoeletrica, Brasil, 2012

Fonte	%
Biomassa	30,4
Gás Natural	35,4
Nuclear	12,1
Derivados de Petróleo	14,9
Carvão e Derivados	7,2
Total	100,0

Fonte: EPE, BEN, 2013.

No caso da biomassa florestal pode se obter melhor resultado através de processos industriais mecânicos transformando resíduos e/ou a própria madeira nos chamados pellets e briquetes otimizando o processo na geração de calor e facilitando no manuseio e transporte do produto. Porém ainda é necessário uma uniformização e regulação, além de fiscalização para padronizar a produção e o produto final (Rasga & Couto, 2013).

Granada et al. (2002), citado por Protásio et al. (2011) afirmam que 20% a 30% de toda a matéria prima utilizada nas indústrias de primeira e segunda transformação da madeira são convertidos em resíduos, tornando-se necessário o desenvolvimento de estudos que visam ao aproveitamento dessa biomassa residual. Para os autores citados, a briquetagem de biomassa é um processo de densificação que melhora as características da biomassa residual, ou seja, proporciona um aumento da densidade energética, reduz custos com transporte e produz um combustível uniforme.

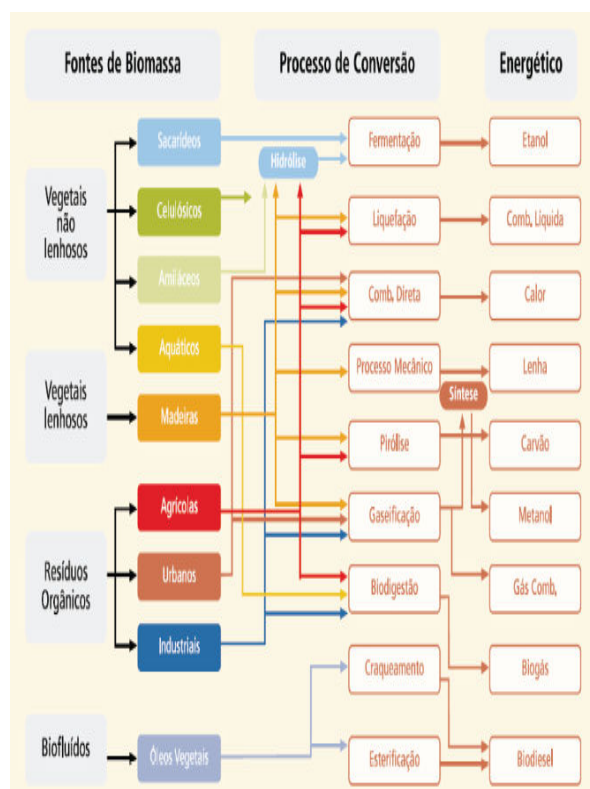


Figura 1. Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa. Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil – ANEEL, 2003.

Indústria de Papel e Celulose. A cogeração ou produção combinada de calor e trabalho é uma das formas mais racionais de utilização dos combustíveis, pois possui maior eficiência com baixo custo incremental para o equipamento de recuperação de calor. Já as geradoras distribuídas consistem em plantas que produzem energia no local em que será consumida ou no local em que estão as distribuidoras, fornecendo diretamente a energia sem usar transmissão (Avignon, 2010).

Na experiência dos resíduos agroindustriais para a co-geração de energia, nas indústrias de papel e celulose, no Brasil, a ABRAF (2012) detalha que o consumo brasileiro de tora de madeira proveniente de plantios florestais foi de 182,4 milhões de metros cúbicos. O segmento de papel e celulose se destacou como principal consumidor, representando 35,2% do total madeireiro gerado.

Já existe um aproveitamento dos resíduos na co-geração de energia nas plantas industriais que produzem papel e celulose e é considerável a capacidade instalada nestes auto-produtores, distribuídos por todo o país em dois segmentos, hidro e termoeletrico segundo dados do Balanço Energético Nacional (2007).

Tabela 5. Consumo brasileiro de madeira em tora para uso industrial por segmento e gênero, 2012

Segmento	Consumo de Madeira em Toras (m ³)			Total
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>	Outros	
Celulose e Papel	55.033.172	9.108.030	5.000	64.146.202
Painéis Reconstituídos	5.580.247	7.252.635	158.576	12.991.458
Indústria Madeireira	7.034.315	27.424.294	288.000	34.746.609
Carvão	23.144.200	-	-	23.144.200
Lenha Industrial	37.067.120	3.829.361	3.786.103	44.682.584
Madeira Tratada	1.650.320	-	-	1.650.320
Outros	1.061.617	31.135	-	1.092.752
Total	130.570.99	47.645.455	4.237.679	182.454.125

Fonte: ABRAF, 2013.

Tabela 6. Capacidade instalada em autoprodutores (MV), Brasil, 2012

Região	Papel e celulose - 2012		Total
	Hidro	Termo	
Norte	0	68,6	68,6
Nordeste	0	659,6	659,6
Sudeste	4	482,5	486,5
Sul	91,3	461,1	552,4
Centro-Oeste	0	175,7	175,7
Total	95,3	1.847,5	1.942,8

Fonte: Brasil MMF EPE REN 2013

Cabe destacar também o consumo energético usado nas indústrias de papel e celulose, corresponde a uma parcela significativa de demanda energética nacional. O segmento industrial consumiu, em 2012, 10.066 Mil TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo) (Brasil. MME. BEN, 2013).

No processo produtivo da indústria de papel de celulose, a lixívia ou licor negro, que é um subproduto do processo de fabricação da celulose, é utilizado como combustível complementar para gerar energia, mas cascas, lascas e outros resíduos da madeira também se incorporam ao sistema energético. Cabe dizer que os resíduos sólidos gerados dependem das características do processo e o seu reaproveitamento é afetado, pois pode alterar as quantidades (Bajay & Ferreira, 2005a).

Quando se analisa os custos de produção, o consumo de energia tem papel importante, assim a co-geração de energia é vista como uma forma positiva de se reduzir custos. Existem duas maneiras de aumentar a eficiência energética de uma fábrica de papel e celulose: reduzir o consumo energético específico dos diversos estágios de sua linha de produção e gerar vapor e eletricidade (quando aplicável) de forma mais eficiente (Bajay et al., 2005b).

O PNE 2030 (2007) apresentou as projeções de produção de celulose no Brasil, no período de 2010 a 2030, mostra uma evolução na produção que concentra os melhores resultados no Sudeste.

Tabela 7. Projeções de produção de celulose, Brasil, Regiões e Unidades da Federação (10³ t/ano)

	2010	2015	2020	2030
Brasil	13.281	16.209	19.500	26.206
Norte	494,5	603,6	726,1	975,9
Nordeste	1.393,8	1.701,2	2.046,5	2.750,4
Sudeste	8.137,4	9.931,8	11.948,2	16.057,3
Sul	3.254,9	3.972,6	4.779,2	6.422,8
Centro-Oeste	-	-	-	-

Fonte: Brasil. MME. PNE 2030, 2007.

CONCLUSÃO

O avanço na produção silvicultural ainda se mostrou incipiente frente às demandas atuais, mas a necessidade da conservação florestal é vista como uma realidade brasileira. A preservação e recuperação dos biomas brasileiros se mantém mais pelo ordenamento

jurídico do que pela consciência antropogênica. Uma opção favorável a todos é o estímulo ao manejo florestal sustentável. Com ele o proprietário alcança várias alternativas na geração de renda incluindo extração da madeira, negociação envolvendo créditos de carbono e ainda usar os resíduos para geração de energia.

As inovações tecnológicas para a obtenção de energia se aprimoram e seguem uma tendência para maior participação de energias renováveis na matriz energética brasileira. A transformação da madeira ou de seus resíduos em *pellets* e briquetes por sistema de compactação se destaca por potencializar a eficiência energética da biomassa, visto que reduz umidade e aumenta o poder calorífico relacionado à densidade, facilitando transporte e armazenamento.

Um fator importante para o desenvolvimento do potencial energético da biomassa, principalmente de resíduos madeireiros, é a logística de transporte que deve ser analisada com cautela para não encarecer os processos. Há que se dizer sobre os transportes, que no percurso se tem um grande potencial de emissões de CO₂, e como objetivo do trabalho também remete às questões ambientais, quanto mais próximas estiverem as matérias primas das unidades geradoras, melhor será a escala de produção.

Neste sentido se observa que os resíduos agroindustriais apresentam vantagem, visto que já estão dispostos nas plantas industriais. É o caso da co-geração de energia nas indústrias de papel e celulose, com processo produtivo intensivo em consumo energético alto. A energia gerada pode ser revertida para o seu processo produtivo, diminuindo a dependência de energia externa, reduzindo custos, e sem a preocupação de injeção de energia elétrica nas redes de distribuição para fins comerciais.

A geração de bioenergia através de biomassa florestal sustentável pode apresentar relevância energética, já que contribui como alternativa para a ampliação da matriz energética brasileira. A fonte renovável de energia, fecha um ciclo, onde se tem geração de matéria prima, utilização produtiva, geração de renda e aproveitamento de resíduos. Assim o processo dendroenergético apresenta uma baixa entropia e está alinhado em termos positivos nos âmbitos social, econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico ABRAF 2013**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em 27 nov. 2013.

AVIGNON, A. Energia, Inovação Tecnológica e Mudanças Climáticas. In: MAY, P.H. (Org.). **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

BAJAY, S.; FERREIRA, A. A Energia da Biomassa no Brasil. In: ROSILLO-CALE E ROTHMAN (org). **Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira**. Campinas, São Paulo. UNICAMP, 2005.

BAJAY, S.V.; BERNI, M D.; LIMA, C.R. Papel e Celulose. In: ROSILLO-CALE E ROTHMAN (org). **Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira**. Campinas, São Paulo. UNICAMP, 2005.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Síntese do Relatório Final – BEN 2013**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf>. Acesso em 28 nov. 2013.

BRASIL. **Lei de nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em 26 nov. 2013.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2013** – Tabelas do BEN – Capítulos 1 a 8 – 1970 em diante. Disponível em: <www.mme.gov.br/mme/menu/todas-publicacoes.html/tabelas>. Acesso em 25 nov. 2013.

_____. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html/biomassa>. Acesso em 23 nov. 2013.

_____. MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos

Naturais Renováveis. **Monitoramento da mata atlântica**. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/index.htm>>. Acesso em 25 abr. 2013.

_____. **Energias Renováveis-Biomassa**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

BRITO, J.O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.21, n.59, p.185-193, 2007.

PORTAL Nacional de Gestão Florestal. **Manejo florestal**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/manejo-florestal/apresentacao>>. Acesso em 07 jun. 2013.

COUTO, L.C. Reflexos das Emissões dos Gases da Combustão da Biomassa Lenhosa na Saúde Humana: uma Reflexão. **2º Anuário Brasileiro das Indústrias de Biomassa e Energias Renováveis**, 2013/2014. Disponível em: <http://www.issuu.com/anuário_biomassa/docs/anuário_biomassa_e_energias_renovaveis=3524626/5496897>. Acesso em 17 jan. 2014.

FURTADO, T.S.; FERREIRA, J.C.; BRAND, M.A.; NEVES, M.D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.3, p.577-582, 2012.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v.32, n.3, p. 582-587, 2009.

HOLLANDA, J.B. **Biocombustíveis e a Política Energética**. 2º Anuário Brasileiro das Indústrias de Biomassa e Energias Renováveis, 2013/2014. Disponível em: <http://www.issuu.com/anuariobiomassa/docs/anuario_biomassa_e_energias_renovaveis=3524626/5496897>. Acesso em 16 jan. 2014.

LIPINSKI, J. **Mercado de crédito de carbono florestal atinge recorde**. Disponível em: <<http://www.institutocarbo>

nobrasil.org.br/noticias/noticia=732311>. Acesso em 20 jun. 2013.

MOREIRA, J.M.M.A.P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.68, p.363-372, 2011.

PINTO JUNIOR, H.Q. (Org.); ALMEIDA, E.F.; BOMTEMPO, J.V.; IOOTTY, M.; BICALHO, R.G. Política energética, fontes alternativas e novas tecnologias. **Economia da energia: Fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2007, p. 291-335.

PROTÁSIO, T.P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A.E.R. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.68, p.273-283, 2011.

RASGA, R.; COUTO, L. **Pellets de Madeira: A União Disciplinada Faz a Força Vencedora**. 2º Anuário Brasileiro das Indústrias de Biomassa e Energias Renováveis, 2013/2014. Disponível em: <http://www.issuu.com/anuario_biomassa/docs/anuario_biomassa_e_energias_renovaveis=3524626/5496897>. Acesso em 17 jan. 2014.

SCHAITZA, E.G.; SHANG, M.; OLIVEIRA, E.B. de; LIMBERGER, E.; SANTOS, L.M.F. dos; SHIMIZU, J.Y.; GOBOR, D.; SIQUEROLO, E.F.; MAXIMIANO, G.A.; AGUIAR, A.V. de; SOUSA,

L.P. de; BIANCO, A. de J.; SANTOS, E.S. dos; PASSARELLI, I.; FREITAS, J.C. de; DOMINGUES, R.; GONÇALVES, A.R.; GARBELINI, W. A.; SANTOS, J.F. dos; MORIS, A.C.; SABOT, A. L.; SANTOS, A. S. dos. **Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no Estado do Paraná: um modelo para a conservação ambiental, com inclusão social e viabilidade econômica**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/315298>>. Acesso em 08 abr. 2013.

SCOLFORO, J.R.S.; MAESTRI, R.; MACHADO, S. do A. **Um modelo de crescimento e produção como suporte para manejo florestal**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/300590>>. Acesso em 08 abr. 2013.

SOARES, T.S.; VALE, A.B.; LEITE, H.G.; MACHADO, C.C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p.811-820, 2003.

VEIGA, J.E.; EHLERS, E. Diversidade Biológica e Dinamismo Econômico no Meio Rural. In. MAY, P.H. (Orgs.). **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

★★★★★