



**Universidade Federal  
do Rio de Janeiro**  

---

**Escola Politécnica**

## Uso da Biomassa como Alternativa Energética

Bruno Monteiro Cardoso

Projeto de Graduação submetido ao corpo docente do curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2012

# Uso da Biomassa como Alternativa Energética

Bruno Monteiro Cardoso

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinada por:

---

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.

---

Prof. Luís Guilherme Barbosa Rolim, Dr.Ing.

---

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

---

Prof. Tirlê Cruz Silva, M. Sc. em Economia.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO de 2012

Cardoso, Bruno Monteiro

Uso da Biomassa como Alternativa Energética/ Bruno Monteiro Cardoso. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

X, 94 p.: il.; 29,7cm

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Elétrica, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 78-81

1.Introdução. 2.Uso da Biomassa como Fonte de Energia. 3.Descrição das Principais Biomassas do Brasil. 4.Processos de Conversão Energética da Biomassa. 5.Geração de Energia Elétrica Através da Biomassa. 6.Análises e Conclusões.  
I. Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Uso da Biomassa como Alternativa Energética.

À minha mãe Maria Alice por todo o sacrifício,  
colocando a educação de seus filhos sempre como prioridade.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família. Meu avô Alcides, minha avó Deolinda, minha mãe Maria Alice e minha irmã Viviane por sempre me apoiarem com todo amor. Os tenho como exemplo e a cada dia me inspiram para ser uma pessoa melhor.

Agradeço também a minha atual e futura esposa Michelle pela paciência, compreensão, amor e companheirismo. Sem o seu incentivo e ajuda o caminho da graduação seria bem mais árduo. Eu te amo.

Agradeço a minha sobrinha querida Marina pelos momentos de alegria, acompanhar o seu crescimento pessoal e estudantil é prazeroso e motivador.

Agradeço a todos os meus companheiros do CENPES, em especial ao supervisor Luiz Evangelista e ao gerente Marcílio Mariano que confiaram em mim, me dando a oportunidade de conciliar as atividades profissionais e acadêmicas.

Por fim, agradeço a todos os professores com os quais tive o prazer de estudar, todos de alguma forma, me ajudaram a ser o profissional que sou hoje. Em especial, gostaria de agradecer ao professor Jorge Luiz, não só pela orientação neste projeto, mas também por todas as disciplinas cursadas com ele, inclusive Cálculo I, cursada no primeiro semestre de 2002, no início da graduação.

Resumo do projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

## Uso da Biomassa como Alternativa Energética

Bruno Monteiro Cardoso

Fevereiro/2012

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

O crescente aumento do consumo de energia mundial, grande parte em virtude da evolução das áreas tecnológica e econômica, demanda investimentos no aproveitamento de novas fontes de energia e em novas aplicações das fontes existentes. Em ambos os casos é primordial que as novas soluções sejam eficientes e sustentáveis.

Neste cenário, uma das energias de destaque é a energia elétrica, indispensável para a sociedade atual. Uma das opções existentes para o crescimento e desenvolvimento sustentável desta fonte se dá através da utilização de biomassas como insumo.

Este trabalho reúne informações, que se encontravam dispersas, referentes a produção de energia elétrica a partir do uso da biomassa. Nele são apresentadas as principais biomassas existentes no Brasil que são utilizadas para geração de eletricidade e também outras com grande potencial de aproveitamento para este fim. Posteriormente são descritas os principais processos de conversão energética da biomassa em uso e em desenvolvimento. Por fim, apresenta-se o estado-da-arte das principais rotas tecnológicas que visam o aproveitamento de biomassa para a geração de energia elétrica.

*Palavras-chave:* Energia, Biomassa, Geração de Energia Elétrica, Conversão, Bioeletricidade.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## USE OF BIOMASS AS AN ENERGETIC ALTERNATIVE

Bruno Monteiro Cardoso

February/2012

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento.

Course: Electric Engineering

The increasing of global energy consumption, largely because of the development of economic and technological areas, requires investments in the exploitation of new energy sources and new applications for the existing ones, in both cases it is essential that the new solutions are efficient and sustainable.

Due to this fact, electrical energy is one of the most important sources of energy, since it is essential for today's society lifestyle. One option for the growth and sustainable development of this source is through the use of biomass as a feedstock.

This work brings together information, which was dispersed, regarding the production of electricity from biomass use. It presents the main kinds of biomass that are used to generate electricity in Brazil and others with great potential for this purpose. Moreover, it describes the main processes of energy conversion of biomass in use and in development. Finally, the state of the art of the main technological approaches aimed at the use of biomass for power generation is presented.

*Keywords: Energy, Biomass, Power generation, Conversion, Bioelectricity.*

## ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	01
2 - USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA.....	03
3 - DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS BIOMASSAS DO BRASIL.....	08
3.1 BIOMASSA DE ORIGEM FLORESTAL.....	08
3.1.1 LENHA E CARVÃO VEGETAL.....	08
3.1.2 RESÍDUOS DE MADEIRA E LICOR NEGRO.....	12
3.2 BIOMASSA DE ORIGEM AGRÍCOLA.....	19
3.2.1 CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
3.2.2 ARROZ.....	24
3.2.3 CAPIM ELEFANTE.....	27
3.2.4 MILHO.....	28
3.2.5 SOJA.....	30
3.3 BIOMASSA ORIUNDA DE REJEITOS URBANOS E INDUSTRIAIS.....	32
3.3.1 REJEITOS URBANOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS.....	32
3.3.2 REJEITOS INDUSTRIAIS SÓLIDOS E LÍQUIDOS.....	36
4 - PROCESSOS DE CONVERSÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA.....	40
4.1 CONVERSÃO TERMOQUÍMICA.....	41
4.2 CONVERSÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	46
4.3 CONVERSÃO BIOQUÍMICA.....	47
5 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA BIOMASSA.....	54
5.1 CICLO A VAPOR.....	55
5.2 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA E USO DE TURBINAS A GÁS.....	59
5.3 OUTRAS TECNOLOGIAS.....	64
6 – CASO ESPECIAL: O USO DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PEQUENA ESCALA.....	67
7 – ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS.....	69
8 – CONCLUSÕES.....	75
9– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78



APÊNDICE A Fatores de conversão de energia.....	82
APÊNDICE B Usinas produtoras de eletricidade a partir do bagaço de cana.....	83
APÊNDICE C Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de usinas termoelétricas a biomassa.....	98

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Participação das diversas fontes de energia no consumo (1973 a 2006).....	05
<b>Figura 2</b> – Lenha.....	09
<b>Figura 3</b> – Histórico do consumo de lenha no Brasil.....	11
<b>Figura 4</b> – Pó de serra.....	14
<b>Figura 5</b> – Cana-de-açúcar.....	21
<b>Figura 6</b> – Casca de arroz.....	25
<b>Figura 7</b> – Fases da produção de biogás.....	33
<b>Figura 8</b> – Diagrama esquemático dos processos de conversão da biomassa.....	40
<b>Figura 9</b> – Rotas tecnológicas de conversão energética da biomassa.....	41
<b>Figura 10</b> – Esquema da planta de pirólise rápida da Unicamp.....	43
<b>Figura 11</b> – Rotas de gaseificação baseada no tipo de agente gaseificante.....	44
<b>Figura 12</b> – Exemplo de unidade de gaseificação de biomassa.....	45
<b>Figura 13</b> – Processo de obtenção do biodiesel a partir da transesterificação.....	47
<b>Figura 14</b> – Exemplo do processo de fermentação para formação de etanol.....	48
<b>Figura 15</b> – Exemplo de processo de hidrólise ácida.....	51
<b>Figura 16</b> – Integração do biodigestor ao biociclo.....	52
<b>Figura 17</b> – Diagrama processual da digestão anaeróbica.....	53

<b>Figura 18</b> – Sistema de co-geração tipo <i>bottoming</i> .....	56
<b>Figura 19</b> – Sistema de co-geração tipo <i>topping</i> .....	56
<b>Figura 20</b> – Ciclo a vapor em contrapressão em co-geração <i>topping</i> .....	57
<b>Figura 21</b> – Características técnicas dos ciclos a vapor com turbinas de contrapressão para geração de energia elétrica.....	57
<b>Figura 22</b> – Ciclo a vapor de condensação e extração em co-geração <i>topping</i> .....	58
<b>Figura 23</b> – Características técnicas dos ciclos a vapor com turbinas de condensação e extração para geração de energia elétrica.....	59
<b>Figura 24</b> – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-GT em co-geração <i>topping</i> .....	60
<b>Figura 25</b> – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-STIG em co-geração <i>topping</i> .....	61
<b>Figura 26</b> – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-ISTIG em co-geração <i>topping</i> .....	62
<b>Figura 27</b> – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-GTCC em co-geração <i>topping</i> .....	63
<b>Figura 28</b> – Características técnicas do ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa para a geração de energia elétrica.....	63
<b>Figura 29</b> – Geração específica de energia elétrica das tecnologias a partir da biomassa excedente exportável segundo o modo de operação .....	64
<b>Figura 30</b> – Esquema de uma microturbina.....	65
<b>Figura 31</b> – Custos de produção de energia elétrica no Brasil.....	69

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classe de combustíveis utilizados no Brasil para geração de energia elétrica – Operação.....	04
<b>Tabela 2</b> – Matriz de energia elétrica do Brasil: empreendimentos em operação.....	06
<b>Tabela 3</b> – Detalhamento do uso da biomassa para geração de energia elétrica no mercado brasileiro – Operação.....	07
<b>Tabela 4</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de carvão vegetal.....	11
<b>Tabela 5</b> – Área total com florestas plantadas por gênero e estado (mil ha).....	12
<b>Tabela 6</b> – Estimativa de produção madeireira potencial de Eucalipto e Pinus no Brasil, 2010.....	13
<b>Tabela 7</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso de resíduos de madeira.....	15
<b>Tabela 8</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do licor negro.....	18
<b>Tabela 9</b> – Informações técnicas da cultura de cana-de-açúcar.....	20
<b>Tabela 10</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de casca de arroz.....	26
<b>Tabela 11</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de capim elefante.....	28
<b>Tabela 12</b> – Informações técnicas da cultura de soja.....	30
<b>Tabela 13</b> – Equivalência entre o biogás e outros combustíveis.....	34

<b>Tabela 14</b> – Produção de rejeitos sólidos urbanos por habitante e suas características.....	35
<b>Tabela 15</b> – Cálculo da emissão anual de metano originário de dejetos da exploração pecuária, segundo espécies, em mil toneladas anuais.....	36
<b>Tabela 16</b> – Produção diária de resíduos sólidos e líquidos de alguns animais.....	37
<b>Tabela 17</b> – Quantidade de rejeitos necessários para a produção de 1m <sup>3</sup> de biogás.....	37
<b>Tabela 18</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso do biogás.....	38
<b>Tabela 19</b> – Versões da tecnologia de pirólise.....	43
<b>Tabela 20</b> – Vantagens e desvantagens do uso da biomassa para geração de energia elétrica.....	70
<b>Tabela 21</b> – Categoria de impactos.....	71
<b>Tabela 22</b> – Impactos ambientais referentes ao uso da biomassa como insumo para a geração de energia elétrica.....	72
<b>Tabela 23</b> – Tabela comparativa de rendimentos das biomassas analisadas.....	73
<b>Tabela 24</b> – Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural – Brasil.....	74
<b>Tabela A.1</b> – Fatores de conversão para Energia.....	82
<b>Tabela B.1</b> – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso do bagaço de cana-de-açúcar.....	83
<b>Tabela C.1</b> – Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de usinas termoelétricas a biomassa.....	98

## NOMENCLATURA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAF – Associação Brasileira de Florestas Plantadas.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

BEN – Balanço Energético Nacional.

BIG – Banco de Informações de Geração.

BIG-GT – *Biomass Integrated Gasification Gas Turbine.*

BIG-GTCC - *Biomass Integrated Gasification Gas Turbine Combined Cycle.*

BIG-ISTIG - *Biomass Integrated Gasification Intercooled Steam Injected Gas Turbine.*

BIG-STIG - *Biomass Integrated Gasification Steam Injected Gas Turbine.*

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DEE – Departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations.*

HRSG – *Heat Recovery Steam Generator.*

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica.

IEA – *International Energy Agency.*

LFAE – Laboratório de Fontes Alternativas de Energia – DEE|POLI|UFRJ.

LDB – Lei de Diretrizes e Bases.

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

MME – Ministério de Minas e Energia.

NBR – Norma Técnica Brasileira aprovada pela ABNT.

pH – Potencial Hidrogeniônico.

PNE – Plano Nacional de Energia.

POLI – Escola Politécnica da UFRJ.

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura.

SIN – Sistema Integrado Nacional.

SPAÉ – Secretaria de Produção e Agroenergia.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## 1 – Introdução

Considerando que nas finalidades de um departamento acadêmico e de seus laboratórios de pesquisa também esteja incluída a catalogação e a disponibilização ao público de informações técnicas e científicas de temas pertinentes às suas atividades, considerando também que a falta de informações concisas e organizadas em determinados tópicos no conjunto das ementas das disciplinas dos cursos devam ser cobertas com atividades complementares como regulamentado na LDB vigente, faz-se oportuno que os TCC – Trabalhos de Conclusão de Curso dos engenheiros tornem-se um dos instrumentos para suprir tais falhas. Assim, a elaboração de material didático ou informativo como referência para as atividades didáticas das disciplinas se encaixa perfeitamente no formato de apresentação dos TCCs. No caso específico deste trabalho, enfocamos o tema “biomassa como alternativa energética para o Brasil”.

Este trabalho tem por objetivo apresentar as informações referentes a utilização da biomassa como alternativa energética para o Brasil, com foco na geração de energia elétrica. As informações aqui contidas servirão como material didático para o Laboratório de Fontes Alternativas de Energia LAFAE do Departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ.

Todas as informações aqui apresentadas foram obtidas ou desenvolvidas a partir de pesquisas em endereços eletrônicos especializados ou da bibliografia existente relacionada ao tema. As informações foram ordenadas de maneira lógica, de forma a propiciar ao leitor uma linha de raciocínio desde a origem da biomassa até sua aplicação como alternativa na produção de energia elétrica.

Primeiramente foi realizado um breve histórico da utilização da biomassa como fonte energética, seguido de uma apresentação do cenário atual da utilização desta fonte para este fim.

Posteriormente são apresentadas as descrições das biomassas mais utilizadas classificadas em três categorias: origem florestal, origem agrícola e rejeitos industriais e urbanos. Em uma primeira abordagem as biomassas foram tratadas individualmente dentro destas categorias e as informações apresentadas em formato de tópicos como definição, características físicas e biológicas, processos produtivos, impactos ambientais e sociais, etc. Contudo esta apresentação se mostrou inadequada já que algumas biomassas apresentavam características similares e as informações ficaram divididas em uma grande quantidade de tópicos. Como solução, algumas biomassas

foram englobadas em um mesmo tópico e as informações apresentadas em parágrafos dentro de cada biomassa ou grupo de biomassas.

Na terceira parte do trabalho são apresentadas as técnicas mais utilizadas comercialmente, ou com destaque na área de pesquisa, referentes a transformação das biomassas visando seu aproveitamento energético. Cada técnica é descrita resumidamente de forma a passar um conhecimento básico sobre a mesma.

Na quarta parte deste projeto é dado enfoque a utilização das biomassas para geração de energia elétrica, apresentando quais são os meios mais utilizados e estudados atualmente para a conversão da energia contida na biomassa em energia elétrica.

Por fim, na quinta e na sexta parte do trabalho, são feitas considerações a respeito de possíveis áreas para estudos futuros e análises e conclusões relacionadas as informações aqui apresentadas.



## 2 - Uso da biomassa como fonte de energia

O desenvolvimento da civilização está atrelado ao consumo de energia exercido pelo homem. Desde os primórdios, quando o homem descobriu o fogo e começou a utilizar sua energia para cocção de alimentos e outros fins, esta energia tem sido obtida através de atividades extrativistas, aproveitando-se assim dos recursos da natureza. Este processo era realizado sem quaisquer preocupações com os impactos que poderiam advir de sua execução, pois se acreditava que os recursos naturais e os combustíveis fósseis foram fontes abundantes de energia, sem previsão de esgotamento.

Contudo, desde a metade do século XX este cenário está em transformação. A evolução dos processos industriais e o desenvolvimento da sociedade acarretam em um aumento sistemático da demanda de energia e, devido a este fato, a comunidade mundial começou a perceber os impactos de um consumo descontrolado destes recursos. Foi constatado que a grande maioria dos insumos energéticos utilizados na produção de energia em grande escala possui reservas finitas. Estes aumentos de demanda agregados às limitações das reservas fizeram com que as perspectivas de duração das fontes de energia predominantes se tornassem reduzidas.

Outra ação que mudou consideravelmente o cenário de produção de energia ocorreu ao final do século XX com a implantação de legislações ambientais em diversos países. A preocupação em se preservar o meio ambiente para as gerações futuras, discutindo-se questões tais como o aquecimento global e as emissões de carbono, passou a ser um tópico de destaque em qualquer projeto de geração de energia.

Além dos aspectos quantitativos e ambientais existem também fatores econômicos que impactam diretamente no setor energético, com foco na indústria de petróleo. Após a Segunda Grande Guerra, em 1945, surgem sinais iniciais da importância geo-estratégica do petróleo com as primeiras ameaças de embargo petrolífero realizadas pelos países árabes aos Estados Unidos. Desde este período até os dias atuais já ocorreram cinco crises relacionadas a produção / consumo de petróleo (1956, 1973, 1979, 1991 e 2008), revelando ao mundo as conseqüências econômicas da grande dependência de uma única fonte de energia.

Em vista dos fatos apresentados se faz necessário a busca de alternativas energéticas sustentáveis visando atender a demanda crescente de energia no âmbito mundial. Muitas alternativas surgiram como solução deste problema, dando-se destaque a energia solar, a energia eólica, a energia atômica e a energia proveniente

das biomassas. Todas as alternativas citadas possuem vantagens e desvantagens que devem ser levadas em consideração. Por este motivo, até o momento, nenhuma das opções despontou como a melhor alternativa, mas cada uma deve ser analisada, verificando-se a melhor relação custo-benefício para cada aplicação.

Este trabalho tem como foco a utilização da biomassa como fonte de energia, destacando seu aproveitamento na geração de energia elétrica no Brasil.

Tabela 1 – Classe de combustíveis utilizados no Brasil para geração de energia elétrica - Operação.

Combustível	Quantidade de empreendimentos	Potência (kW)	%
Biomassa	429	8.990.493	28,79
Fóssil	1045	20.753.350	66,46
Outros	36	1.485.270	4,76
Total	1510	31.229.113	100

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

Do ponto de vista energético a biomassa é toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia (ANEEL, 2002). A mesma sempre esteve presente como fonte de energia na história da civilização, inicialmente na forma de lenha ou carvão e, a partir de meados do século XX, outras formas de utilização da biomassa ganharam ênfase. A utilização da biomassa tem como grandes vantagens seu aproveitamento direto por meio da combustão em fornos e caldeiras e também a redução de impactos socioambientais. Como desvantagens, seu aproveitamento apresenta eficiência reduzida, contudo estão sendo pesquisados aperfeiçoamentos das tecnologias de conversão.

Por ser considerada uma fonte energética limpa e renovável, o interesse na utilização de biomassa ganhou espaço no mercado de energia, passando a ser considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis, conforme se pode observar nos dados apresentados na Tabela 1 e na Figura 1. Por este motivo os investimentos e incentivos do setor público e do setor privado de diversos países na produção de energia utilizando a biomassa têm aumentado consideravelmente nos últimos anos.

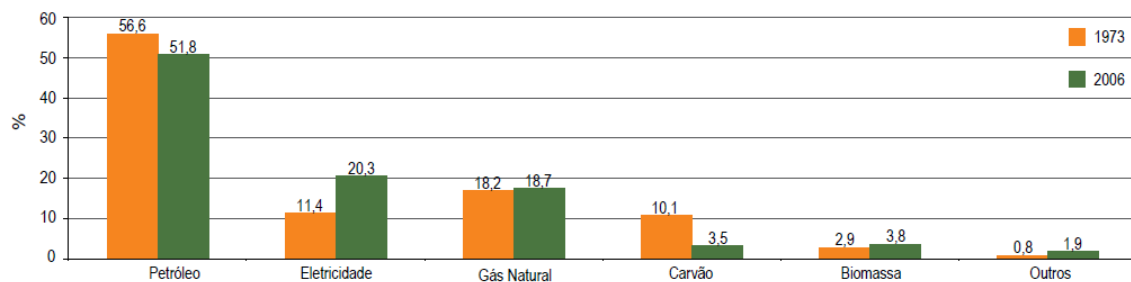


Figura 1 – Participação das diversas fontes de energia no consumo (1973 e 2006).

Fonte: IEA, 2008.

A biomassa, quando utilizada para fins energéticos, é classificada em três categorias: florestal, agrícola e rejeitos urbanos, onde, na biomassa energética agrícola, estão incluídos as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal. O potencial energético de cada um desses grupos depende tanto da matéria-prima utilizada quanto da tecnologia utilizada no processamento para obtê-los.

Existem diversas rotas tecnológicas para a utilização da biomassa com a finalidade de se produzir energia elétrica, contudo, todas envolvem a transformação da biomassa, por meio de processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos, em um produto intermediário, que por fim, será usado na geração de eletricidade. Para cada cenário deve ser observado a viabilidade técnica e econômica de cada tipo de biomassa e da tecnologia a ser empregada visando a otimização dos resultados.

A matriz energética brasileira, considerando-se os empreendimentos em operação, segundo o BIG 2012, está atualmente dividida conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de energia elétrica do Brasil: empreendimentos em operação.

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade Instalada			Total		
		N.º de Usinas	(kW)	%	N.º de Usinas	(kW)	%
Hidráulica	-	966	82.318.681	65,76	966	82.318.681	65,76
Gás	Natural	102	11.424.053	9,13	140	13.213.236	10,56
	Processo	38	1.789.183	1,43			
Petróleo	Óleo Diesel	891	3.942.036	3,15	923	7.074.243	5,65
	Óleo Residual	32	3.132.207	2,50			
Biomassa	Bagaço de Cana	347	7.263.608	5,80	427	8.986.143	7,18
	Licor Negro	14	1.245.198	0,99			
	Madeira	42	373.827	0,30			
	Biogás	16	70.902	0,06			
	Casca de Arroz	8	32.608	0,03			
Nuclear	-	2	2.007.000	1,60	2	2.007.000	1,60
Carvão Mineral	Carvão Mineral	10	1.944.054	1,55	10	1.944.054	1,55
Eólica	-	72	1.452.792	1,16	72	1.452.792	1,16
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46	-	8.170.000	6,53
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
Total		2.548	125.171.587	100	2.548	125.171.587	100

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

A Tabela 3 apresenta uma visão mais detalhada das biomassas utilizadas nas usinas em operação no Brasil.

Tabela 3 – Detalhamento do uso da biomassa para geração de energia elétrica no mercado brasileiro - Operação.

Combustível	Quantidade de empreendimentos	Potência (kW)	%
Licor negro	14	1.245.198	13,85
Resíduos de madeira	37	316.927	3,53
Capim elefante	2	31.700	0,35
Biogás	16	70.902	0,79
Bagaço de cana-de-açúcar	347	7.263.608	80,79
Óleo de palmiste	2	4.350	0,05
Carvão vegetal	3	25.200	0,28
Casca de arroz	8	32.608	0,36

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

## 3 - Descrição das principais biomassas do Brasil

### 3.1 - Biomassa de origem Florestal

A biomassa energética florestal é definida como produtos e subprodutos dos recursos florestais que incluem basicamente biomassa lenhosa, produzida de forma sustentável a partir de florestas cultivadas ou de florestas nativas, obtida por desflorestamento de floresta nativa para abertura de áreas para agropecuária, ou ainda originada em atividades que processam ou utilizam a madeira para fins não energéticos, destacando-se a indústria de papel e celulose, indústria moveleira, serrarias etc. O conteúdo energético desta classe de biomassa está associado à celulose e lignina contidas na matéria e ao baixo teor de umidade. Seu aproveitamento no uso final energético se realiza, principalmente, através das rotas tecnológicas de transformação termoquímica mais simples, como combustão direta e carbonização, mas rotas mais complexas também são empregadas para a produção de combustíveis líquidos e gasosos, como metanol, etanol, gases de síntese, licor negro (um subproduto da indústria de celulose), entre outros (ANEEL:EPE, 2007).

#### 3.1.1 - Lenha e carvão vegetal

A lenha é 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, ela participa 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.



Figura 2 – Lenha

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

A produção de lenha pode ser dividida em dois segmentos: a lenha catada e a lenha produzida para fins comerciais. A lenha catada proveniente de matas nativas parecia uma fonte inesgotável desta biomassa, contudo a forma predatória com que a mesma foi explorada causou problemas críticos em diversas regiões do país. Várias regiões onde existiam abundantes coberturas florestais passaram a conviver com a degradação do solo, a alteração no regime das chuvas e conseqüente desertificação.

Na produção de lenha para fins comerciais, principalmente nas serrarias e indústrias de móveis, a lenha proveniente das matas nativas é substituída pela lenha de reflorestamento, sendo o eucalipto a principal árvore cultivada para este fim. Após a utilização da lenha nas fábricas são gerados resíduos industriais como pontas de toras, costaneiras e serragem de diferentes tamanhos e densidade. Tais resíduos podem ter um aproveitamento energético.

Para a lenha catada, de uso residencial, é considerada uma densidade com valor médio de 300 Kg/m<sup>3</sup> e, para a lenha comercial, a densidade de 390 Kg/m<sup>3</sup> (BEN, 2011).

No Brasil em 2010, cerca de 33% da lenha produzida foi transformada em carvão vegetal. Esta transformação é realizada através dos processos conhecidos como carbonização, que consiste na queima da lenha com presença controlada de ar, ou pelo 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/m<sup>3</sup>.

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 (material inorgânico).

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.

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.

De maneira a se garantir a viabilidade econômica da produção de carvão vegetal, se faz necessário que as carvoarias fiquem próximas a indústrias que produzam resíduos de madeira, como as serrarias. Caso este conjunto de indústrias fique próximo a zonas urbanas, o mesmo influi diretamente no grau de poluição destas zonas, submetendo a população aos efeitos danosos da fumaça e das partículas emitidas durante o processamento da lenha.

A maior parte da produção nacional é executada através do processo de carbonização, praticada nas carvoarias ainda na forma tradicional, em fornos de alvenaria com ciclos de aquecimento e resfriamento que podem durar vários dias. Esta atividade é associada a condições desumanas de trabalho já que é rudimentar, expondo os trabalhadores a condições inseguras e muitas vezes sendo realizada de maneira informal.

Segundo o Balanço Energético Nacional 2011, no Brasil a produção total de lenha em 2010 foi de 84,101 milhões de toneladas, sendo que 27,86 milhões de toneladas (33,1%) foram utilizadas na produção de carvão vegetal e 1,235 milhões de toneladas (1,5%) diretamente na geração elétrica, gerando um total de 29,095 milhões de toneladas (34,6%) aplicadas em transformação (produção de carvão vegetal e geração elétrica). O setor residencial é responsável pelo consumo de 27,9% da lenha produzida, geralmente utilizada na cocção dos alimentos nas regiões rurais. Como exemplo, tem-se como média a necessidade de 2m<sup>3</sup> de lenha por mês para que uma família de oito pessoas possa preparar suas refeições neste período. O setor industrial fica responsável por 27,5% do consumo da produção de lenha, sendo as indústrias de alimento e bebidas, cerâmicas e papel e celulose as principais consumidoras. O setor



agropecuário e o comercial, em menores números, também são consumidores deste insumo.

Analisando-se estes dados verifica-se que a produção de energia elétrica advinda da lenha ainda é pequena em relação a produção total desta biomassa, cerca de 1,5%, totalizando cerca de 4,45 TWh (0,38 milhão de tonelada equivalente de petróleo - tep).

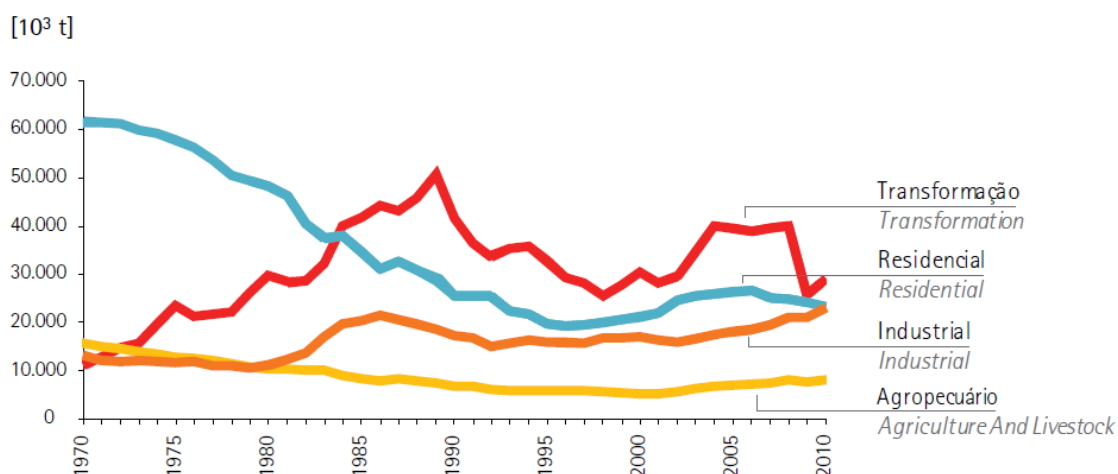


Figura 3 – Histórico do consumo de lenha no Brasil.

Fonte: MME:EPE. BEN, 2011.

A Tabela 4 apresenta as usinas que geram energia elétrica a partir da queima do carvão vegetal registradas no BIG.

Tabela 4 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de carvão vegetal.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Simasa	8.000	50% para companhia Siderúrgica Vale do Pindaré, 50% para Siderúrgica do Maranhão S/A	Açailândia - MA
Viena	7.200	100% para Viena Siderúrgica do Maranhão S/A	Açailândia - MA
Gusa Nordeste	10.000	100% para Gusa Nordeste S.A.	Açailândia - MA
Total: 3 usinas		Potência total: 25.200 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

### 3.1.2 - Resíduos de madeira e Licor negro

O Brasil possui alto potencial florestal devido às suas grandes extensões de terra que possibilitam um alto volume de produção de madeira. A cadeia produtiva da madeira gera uma grande quantidade de resíduos se considerarmos os processos de transformação primário, secundário e terciário que, se não tratados adequadamente, podem gerar diversos problemas ambientais. Estes resíduos são constituídos pelo material florestal orgânico que sobra na floresta após a colheita, sobras de madeira, com ou sem casca, galhos grossos e finos, fuste, casca, copa, touça e raízes.

As árvores mais utilizadas em florestas de reflorestamento são o pinus e o eucalipto. 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/m<sup>3</sup>. Já o eucalipto é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, pertencente a família das mirtáceas, que compreende outros 130 gêneros. Seus resíduos possuem poder calorífico inferior de 4024 Kcal/Kg e densidade de 374 Kg/m<sup>3</sup>. 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 5, o eucalipto 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 5 – Área total com florestas plantadas por gênero e estado (mil ha)

Estados	Eucalipto	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
<b>TOTAL</b>	<b>1.837</b>	<b>388</b>	<b>26</b>	<b>2.251</b>

Fonte: Relatório Anual 2009/2010 BRACELPA, 2010

O processamento primário é composto pela extração da madeira da floresta nativa ou da floresta de reflorestamento transformando-a em toras, gerando um desperdício de madeira na forma de resíduos. Em plantios de pinus, cerca de 28% do peso total da árvore fica na floresta em forma de resíduos, já no plantio de eucaliptos 22% se tornam resíduos. O setor de base florestal (processamento secundário) se baseia na transformação das toras de madeira em placas, barras, laminados, painéis, compensados etc. Nesta fase é gerada a maior quantidade de resíduos, pois para cada tonelada de madeira bruta beneficiada, são gerados de 35% a 50% de resíduos, conforme ilustrado na Figura 4. Em uma 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.

Tabela 6 – Estimativa da produção madeireira potencial de Eucalipto e Pinus no Brasil, 2010

Gênero	Produção Sustentada <sup>1</sup>
	m <sup>3</sup> /ano
Eucalipto	193.736.543
Pinus	64.913.131
Total	258.649.674

<sup>1</sup> Produção sustentada foi calculada multiplicando a área plantada pelo incremento médio anual (m<sup>3</sup>/ha ano) médio ponderado da espécie.

Fonte: Anuário Estatístico da ABRAF 2011 – Ano base 2010.

A produção de madeira pinus em toras concentra-se nas regiões Sul e Sudeste do país, as quais respondem por mais de 90% da produção sustentável nacional. Já a produção de madeira de eucalipto, também em toras, concentra-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, e representam mais de 70% da produção sustentável nacional de eucalipto. O principal segmento consumidor de madeira em tora (processo primário) de floresta plantada é a indústria de papel e celulose, seguida pela siderurgia e pela indústria de madeira serrada.

Após o processo secundário, os principais destinos da madeira processada são as indústrias moveleiras e de construção civil.



Figura 4 – Pó de serra

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

Do ponto de vista físico, plantios de eucalipto e pinus não devem ocupar terras em locais não recomendados, como áreas consideradas aptas para culturas agrícolas, encostas íngremes, margens de rios, dentre outras. Caso o sistema de planejamento operacional adotado não seja adequado podem ocorrer interferência dos plantios nos processos de conservação do solo (erosão) e na qualidade da água.

Tendo em consideração os aspectos biológicos, no cultivo de eucalipto e pinus deve ser considerado o plano de manejo de forma a garantir a biodiversidade dos sistemas aquáticos e terrestres. Neste aspecto também se pode destacar o uso inadequado de defensivos agrícolas, fertilizantes e a utilização de queimadas e desmatamentos como método de limpeza da área pré-plantio, gerando gases causadores do efeito estufa.

Os principais impactos sociais referentes ao cultivo de eucalipto e de pinus podem ser observados quando da implantação de uma nova área de cultivo, tendo como destaques a ocupação das terras, a infra-estrutura da região e a qualidade de vida da população.

A necessidade de aquisição de grandes áreas para o plantio de eucalipto e pinus pode causar mudanças na origem e na quantidade dos alimentos produzidos em certas áreas, em função da substituição parcial de culturas agrícolas. Além disso, existe a interferência na estrutura fundiária das regiões.

Com a instalação de empresas do setor florestal projeta-se o aumento de investimentos em infra-estrutura das cidades, normalmente a ser realizado através de parcerias entre o setor público e o setor privado, tendo como consequência um

processo de modernização das mesmas, facilitando a comunicação com outros centros e diversificando as atividades do comércio local.

No que diz respeito à qualidade de vida da população próxima às empresas do setor florestal verificou-se o aumento na geração de empregos diretos e indiretos, dando oportunidade a um grande contingente de pessoas que não tinham perspectiva de trabalho em regiões pobres. As empresas normalmente investem nas equipes de trabalho e em equipamentos para melhorias ergonômicas.

A título de exemplo, considerando-se as perdas totais em torno de 50% (já computada a quantidade de resíduo que não pode ser aproveitado como combustível em termoelétricas ou centrais de geração térmica), os poderes caloríficos do eucalipto e do pinus e os números apresentados na Tabela 6, pode-se verificar um total de 129,33 milhões de m<sup>3</sup>/ano de resíduos, sendo 96,87 milhões de m<sup>3</sup>/ano advindos da produção de eucalipto e 32,46 milhões de m<sup>3</sup>/ano advindos da produção de pinus. Estes números equivalem a 14,58 milhões de tep e 169,55 TWh para o eucalipto e para o pinus estes números são 4,74 milhões de tep e 55,15 TWh para o período.

Tabela 7 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso de resíduos de madeira.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Ripassa	53.480	100% para Ripasa S/A – Celulose e Papel	Limeira – SP
Tramontina	1.500	100% para Tramontina Belém S/A.	Belém – PA
Rigesa	32.500	100% para Rigesa Celulose Papel e Embalagens Ltda.	Três Barras – SC
Forjasul	1.800	100% para Forjasul Encruzilhada Indústria de Madeiras Ltda.	Encruzilhada do Sul – RS
Sinop	6.000	100% para Vitale Industrial Norte S/A	Sinop – MT
Miguel Forte	16.000	100% para Miguel Forte Industrial S.A.	União da Vitória – PR
Energia Madeiras	4.000	100% para Energia Madeira – Industrial e Comercial Ltda.	Canoinhas – SC
Pizzatto	2.000	100% para Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda.	General Carneiro – PR
Piratini	10.000	100% para Piratini Energia S/A	Piratini – RS

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Ecoluz	12.330	100% para Gaia Energia e Participações S.A.	Guarapuava – PR
Itacoatiara	9.000	100% para BK energia Itacoatiara Ltda.	Itacoatiara – AM
Pampa	400	100% para Pampa Exportações Ltda.	Belém – PA
PIE-RP	27.800	100% para PIE-RP Termoelétrica S/A	Ribeirão Preto – SP
Araguassu	1.200	100% para Araguassu Óleos Vegetais Indústria e Comercial Ltda.	Porto Alegre do Norte – MT
Gaseifamaz I	27	100% para Biomass Users Network do Brasil	São Paulo – SP
Toledo	3.000	100% para Sadia S/A	Toledo – PR
Lages	28.000	100% para Lages Bioenergética Ltda.	Lages – SC
Dois Vizinhos	1.980	100% para Sadia S/A	Dois Vizinhos – PR
Rohden	3.500	100% para Rohden Artefatos de Madeira Ltda.	Salete – SC
Egídio	2.000	100% para Serraria Egídio Ltda.	Juruena – MT
Battistella	3.150	100% para Battistella Indústria e Comércio Ltda.	Rio Negrinho – SC
Terranova I	3.000	100% para Solida Brasil Madeiras Ltda.	Rio Negrinho – SC
Irani	9.800	100% para Celulose Irani S/A	Vargem Bonita – SC
Bragagnolo	1.200	100% para Avelino Bragagnolo S/A Indústria e Comércio	Faxinal dos Guedes – SC
Piraí	9.000	100% para Centrais Elétricas Salto Correntes Ltda.	Piraí do Sul – PR
Energy Green	5.000	100% para E G Brasil Energia Ltda.	Carambeí – PR
Santa Maria	6.400	100% para Santa Maria Companhia de Papel e Celulose	Guarapuava – PR

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Bio Fuel	4.800	100% para Brasil Bio Fuels S.A.	São João da Baliza – RR
Berneck	12.000	100% para Berneck S.A., Painéis e Serrados.	Araucária – PR
Thermoazul	4.700	100% para Thermoazul – Usina de Energia Ltda.	Tangará – SC
Primavera do Leste	8.000	100% para Cargill Agrícola S.A.	Primavera do Leste – MT
Comigo	5.000	100% para Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano	Carmo do Rio verde – GO
Natureza Limpa	1.000	100% para TJMC Empreendimentos Ltda.	Unaí – MG
Laminados Triunfo	1.500	100% para laminados Triunfo Ltda.	Rio Branco – AC
Santo Antônio	60	100% para Cooperativa de desenvolvimento Sustentável Santo Antônio do Rio Ituquiara	Breves – PA
Cargill Uberlândia	25.000	100% para Cargill Agrícola S.A.	Uberlândia – MG
Ebata	800	100% para Ebata – Produtos Florestais Ltda.	Belém - PA
Total: 37 usinas		Potência total: 316.927 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

Outro derivado da madeira que é bastante utilizado como combustível para a geração de energia elétrica é o licor negro. O licor negro, também conhecido como lixívia negra, é um resíduo líquido proveniente do digestor após o processo de cozimento da madeira. É uma mistura complexa que contém grande número de substâncias orgânicas dissolvidas da madeira junto a seus componentes inorgânicos. Seu poder calorífico inferior é da ordem de 2860 Kcal/Kg de licor.

Na indústria de produção de papel a matéria prima é a polpa da madeira que é obtida através de processos mecânicos e químicos da madeira bruta separando-a em lignina, celulose e hemicelulose (componentes da madeira). Os processos mecânicos

tritaram a madeira, separando assim apenas a hemicelulose que é uma polpa de menor qualidade, de fibras curtas e de cor amarelada. O processo químico na indústria de papel mais difundido no Brasil é o *Kraft*, onde uma solução de hidróxido de sódio / sulfito de sódio, conhecido como licor branco, é adicionada para separar a celulose da matéria prima lenhosa, etapa essa conhecida como digestão. Nesta operação, mais da metade da madeira se solubiliza, saindo junto com os produtos químicos na forma de uma lixívia escura, o licor negro.

No Brasil, a produção total de licor negro no ano de 2010 foi de 21.247.000 toneladas, sendo 4.796.000 toneladas (22,6%) aplicadas em transformação (geração de energia elétrica). Este quantitativo equivale a 1,37 milhões de tep e 15,95 TWh, incluindo os empreendimentos cadastrados no BIG conforme a Tabela 8 e os empreendimentos de menor escala e de autoprodutores.

Tabela 8 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do licor negro

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Aracruz	210.400	100% para Fibria Celulose S.A.	Aracruz – ES
Bahia Pulp (Ex. Bacell)	108.600	100% para Bahia Specialty Cellulose S.A.	Camaçari – BA
Suzano Mucuri (Ex. Bahia Sul)	214.000	100% para Suzano Papel e Celulose S.A.	Mucuri – BA
Celulose Irani	4.900	100% para Celulose Irani S/A	Vargem Bonita – SC
Klabin Otacílio Costas (Ex. Igaras)	33.745	100% para Kablin S/A	Otacílio Costa – SC
Jari Celulose	55.000	100% para Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.	Almeirim – PA
Aracruz Unidade Guaíba (Riocell)	47.000	100% para Aracruz Celulose S/A.	Guaíba – RS
Klabin	113.250	100% para Kablin S/A	Telêmaco Borba-PR
Cenibra	89.421	100% para Celulose Nipo-Brasileira S/A	Belo Oriente – MG



Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Nobrecel	3.200	100% para Nobrecel S/A Celulose e Papel	Pindamonhangaba – SP
Lwarcel (Ex. Lençóis Paulista)	38.000	100% para Lwarcel Celulose Ltda.	Lençóis Paulista – SP
Veracel	126.600	100% para Veracel Celulose Ltda.	Eunápolis – BA
VCP-MS	163.200	100% para Fibria-MS Celulose Sul Mato-Grossense Ltda.	Três Lagoas - MS
Klabin correia Pinto (Ex. Celucat)	37.882	100% para Kablin S/A	Correia Pinto – SC
Total: 14 usinas		Potência total: 1.245.198 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

O licor negro é de particular interesse devido aos diversos impactos ambientais que pode causar no controle biológico nas estações de tratamento de efluentes e o potencial impacto em caso de derrames na vida aquática e nas emissões no processo de combustão como TRS (Teor de Enxofre Reduzido) e poluentes atmosféricos.

Atualmente as grandes empresas do setor de celulose são monitoradas e fiscalizadas por órgão ambientais. Diante desse controle são adotados diques de contenção para os tanques de armazenamento dos produtos que são utilizados no processo de fabricação como o licor verde, licor branco e também o licor negro.

### 3.2 - Biomassa de origem Agrícola

A biomassa energética agrícola é definida como os produtos e sub-produtos provenientes das plantações não florestais, tipicamente originados de colheitas anuais, cujas culturas são selecionadas segundo as propriedades de teores de amido, celulose, carboidratos e lipídios, contidos na matéria, em função da rota tecnológica a que se destina. As culturas agroenergéticas utilizam principalmente rotas tecnológicas de transformações biológicas e físico-químicas, como fermentação, hidrólise e esterificação, empregadas para a produção de combustíveis líquidos, como o etanol, o biodiesel e óleos vegetais diversos. Integram estas culturas a cana de açúcar, o milho, o trigo, a beterraba, a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê, existindo

uma grande variedade de oleaginosas a serem exploradas. Abaixo estão descritas as biomassas agrícolas com maior destaque no cenário brasileiro.

### 3.2.1 - Cana-de-açúcar

Cana de açúcar é uma gramínea com uma haste fibrosa espessa, crescendo até 6 metros de altura. As variedades comerciais de cana de açúcar são híbridos complexos de várias espécies dentro do gênero *Saccharum*. A espécie mais conhecida é *Saccharum officinarum*.

A planta de cana é constituída por quatro partes principais, que são: raízes, talho (fruto agrícola), folhas e flores. O talho é constituído no seu interior por um tecido esponjoso muito rico em sumo açucarado que pode ser extraído de diversas maneiras.

O conteúdo calórico da cana-de-açúcar, considerando todos os seus componentes (sacarose, fibras, água e outros) é de, aproximadamente, 1060 Kcal/Kg. Para o bagaço de cana o poder calorífico inferior é de 2130 Kcal/Kg, considerando o bagaço com 50% de umidade. O poder calorífico inferior das pontas e folhas (palha) da cana-de-açúcar é de 3105 Kcal/Kg, também considerando 50% de umidade.

A cana de açúcar é constituída por fibra e sumo onde o sumo é composto por água, sólidos solúveis ou brix. O brix é um composto de sacarose mais açúcares redutores e sais, sendo estes dois últimos considerados impurezas. Em outras palavras a cana de açúcar, considerando a matéria seca a 30%, tem a seguinte composição: 70% de umidade, 14,7% de fibras, 13% de açúcares e 2,3% de não-açúcares.

Tabela 9 – Informações técnicas da cultura de cana-de-açúcar.

Item	Dado
Ciclo	5 anos
Número médio de cortes	5 cortes
Produtividade de cana	85 ton/ha
Rendimento de açúcar	138 Kg/ton
Rendimento de álcool	82 l/ton

Fonte: MAPA, 2010

A cana de açúcar é propagada a partir de cortes ou "gemas" até um metro de comprimento, plantadas em sulcos. Mudanças crescem de brotos sobre essas seções da haste. No Brasil, cinco ou seis safras podem ser colhidas antes do replantio. "Cana de

açúcar-planta" é a nova safra, colhida cerca de um ano após o plantio (a colheita se dá no início da estação chuvosa – de setembro a novembro), ou mais comumente, dezoito meses após o plantio (colheita no período de seca – julho, agosto). Após o corte, uma lavoura 'brotada' é cultivada a partir dos novos brotos que crescem nos tocos das plantas colhidas. Lavouras 'brotadas' são colhidas em intervalos anuais, principalmente nas estações secas. A aplicação criteriosa de fertilizante de nitrogênio é crucial para altos rendimentos de açúcar. O excesso incentiva o crescimento da folha, em vez de armazenar açúcar. O amadurecimento ocorre naturalmente nos períodos mais frios de seca. Caso contrário, este amadurecimento é acelerado através de técnicas de retenção de nitrogênio, irrigação e aplicação de um maturador químico.

Metade de toda a cana de açúcar é colhida manualmente. Antes do corte, os campos de cana-de-açúcar podem ser queimados para eliminar as folhas, que têm bordas afiadas, para espantar cobras, e evitar que sementes de ervas daninhas sejam devolvidas ao solo. Os talos e raízes da cana-de-açúcar são deixados ilesos. A queima da cana de açúcar é controversa devido aos efeitos adversos sobre o solo e a fauna, bem como o perigo de que os incêndios fujam do controle, e é proibida em alguns países.



Figura 5 – Cana-de-açúcar

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

Após a colheita, a cana-de-açúcar é transportada em caminhões, bi-caminhões e ou até mesmo caminhões de mais de duas balsas até a usina onde será processada.

Colheitadeiras que arrancam as folhas e as depositam sobre o campo apresentam uma alternativa à queima. Esta cobertura de palha reduz o impacto da chuva e ajuda a evitar a erosão do solo. A cana de açúcar geralmente é cultivada em

terrenos com declive ou em solos frágeis. Tempestades tropicais causam muita erosão do solo. A perda da camada superficial do solo reduz a fertilidade e produtividade, dificulta as operações onde se abrem sulcos, e o solo erodido bloqueia cursos d'água. Os escoamentos associados de pesticidas e nutrientes podem também reduzir a biodiversidade e provocam eutrofização (excesso de nutrientes que provocam aumento excessivo de algas) em lagos e rios.

Por se tratar de uma cultura densa e espessa, a cana promove uma conservação eficaz do solo. A palha de cana, que contribui para a melhoria da quantidade de matéria orgânica no solo, mesmo depois de colhida, protege o solo da erosão. Outro benefício da palha de cana no campo é a redução de energia luminosa sobre o solo, reduzindo-se assim o processo de fotossíntese e a germinação de algumas plantas daninhas presentes no banco de sementes do solo.

Contudo existem alguns impactos que interferem negativamente no ambiente tais como:

- a redução da biodiversidade, causada pelo desmatamento e pela implantação de monocultura;
- contaminação das águas superficiais e subterrâneas e também do solo, por meio de prática excessiva de adubação química, corretivos minerais e aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas;
- compactação do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas durante o plantio, tratos culturais e colheita;
- assoreamento de corpos d'água devido à erosão do solo em áreas de reforma;
- emissão de fuligem e gases de efeito estufa na queima ao ar livre de palha durante o período da colheita;
- danos a flora e a fauna, causados por incêndios descontrolados;
- consumo intenso de óleo diesel nas etapas de plantio, colheita e transporte.

Nas usinas de processamento a cana-de-açúcar pode ser utilizada para a fabricação de açúcar ou de álcool.

Na produção de açúcar ocorrem as etapas de evaporação (concentração), cozimento, centrifugação e secagem. Do processo é gerado o mel pobre ou de primeira, esse último ainda contém açúcar e deve retornar para etapa de cozimento e posterior centrifugação visando assim maximizar a produção de açúcar. Com os avanços na produção de álcool, é comum a prática de extração do açúcar de segunda e o direcionamento do mel pobre para a produção de álcool, na etapa de fermentação, juntamente com uma parte do xarope produzido na evaporação.

Já na produção específica de álcool são adicionadas leveduras ao caldo misto, proveniente da extração do mel residual ou do xarope, gerados na fabricação do

açúcar. Esta mistura, conhecida como mosto, é armazenada em dornas, para fins de fermentação. Nesta etapa o processo enzimático produz gás carbônico, calor e vinho. Em seguida ocorre a destilação que é a separação dos diferentes constituintes do vinho, objetivando a recuperação do etanol presente na solução. Desta destilação realizada em colunas, obtém-se a produção do álcool anidro ou hidratado, gerando, como resíduos, vinhaça que também é conhecida como vinhoto ou garapão (resíduo pastoso e malcheiroso que sobra após a destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar).

No ano de 2010 a produção brasileira de álcool anidro foi de  $8.037 \times 10^3 \text{m}^3$  e a de álcool hidratado alcançou  $19.926 \times 10^3 \text{m}^3$  (BEN, 2011).

Após a produção de açúcar e álcool os resíduos de bagaço de cana podem ser utilizados para geração de energia térmica e elétrica.

No Brasil a produção total de bagaço de cana no ano de 2010 foi de 160.333.000 toneladas, sendo 12.752.000 toneladas (7,9%) aplicadas em transformação (geração de energia elétrica) e 61.843.000 toneladas (38,6%) no setor energético (energia consumida nos centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno). A parte da produção destinada a geração de energia elétrica corresponde a 2,72 milhões de tep e 31,59 TWh.

Com relação a energia térmica, a geração de vapor é realizada em caldeiras aquatubulares, que utilizam o bagaço de cana como combustível. O vapor gerado aciona turbinas e moendas, supre a demanda térmica do processo industrial e gera energia elétrica, estabelecendo assim o ciclo de co-geração. A energia elétrica é gerada através da injeção de parte do vapor produzido em turbinas específicas e pode ser utilizada para auto-suficiência ou abastecimento parcial de energia elétrica do complexo industrial. Em caso de produção excedente de energia elétrica, a mesma pode ser comercializada para o sistema público e disponibilizada ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

A cultura de cana-de-açúcar apresenta dois impactos sociais marcantes: condições de mão-de-obra e a concentração de terras.

Grande parte da mão-de-obra utilizada no plantio de cana-de-açúcar é contratada via intermediários, popularmente conhecidos como “gatos” que buscam trabalhadores principalmente no nordeste. Estes trabalhadores são levados a alojamentos localizados na periferia de pequenas cidades próximas a plantação com precárias condições de higiene e salubridade. Outros trabalhadores desta cultura são antigos lavradores de pequenas propriedades que migram para as cidades e se deparam com a falta de oferta de trabalho, acabando assim se sujeitando a serviços esporádicos nos novos canaviais.

O transporte diário dos trabalhadores dos alojamentos até os canaviais e vice-versa é realizado por meio de ônibus ou até mesmo caminhões antigos e inseguros.

Em resumo, é fato que freqüentemente os trabalhadores rurais da cultura de cana-de-açúcar são submetidos a condições desumanas.

Já no que se refere a concentração de terras, verifica-se que, em determinadas regiões do país, ocorre a eliminação de pastagens e da pecuária bovina em virtude da implantação de novos canaviais. Este fato aumenta a concentração de terras sob domínio de grupos restritos e causa a diminuição do número das pequenas propriedades agrícolas.

A relação dos empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar encontra-se na Tabela B.1 do APÊNDICE B.

### 3.2.2 – Arroz

O arroz é uma gramínea anual que tipicamente cresce até 1 – 1,8 metros de altura. A principal espécie de arroz cultivada é a *oryza sativa*, uma das 23 espécies do gênero. As plantas deste gênero são tolerantes a condições desérticas, quentes, úmidas, alagadas, secas e frias, e crescem em solos salinos, alcalinos e ácidos.

A palha de arroz (0,38 tonelada para cada tonelada de arroz colhido) é definida como o resíduo que permanece no campo após a etapa de colheita. Já a casca de arroz (22% do peso total do arroz com casca) é o resíduo gerado após o processamento industrial do arroz bruto, ilustrada na Figura 6.

O poder calorífico inferior da palha e da casca são, respectivamente de 3821 Kcal/Kg e 3200 Kcal/Kg.

A cultura do arroz é muito exigente em relação a umidade do solo, contudo pode ser desenvolvida sob diversas condições climáticas. Para que a plantação seja bem sucedida dois fatores são de suma importância: água em abundância para que seja mantida a temperatura ambiente dentro da faixa adequada e, nos sistemas tradicionais, mão-de-obra intensiva.

Em torno de 15% das cascas de arroz residuais do processo industrial são utilizadas na fase de secagem do próprio processo, sendo que os outros 85%, assim como os resíduos de palha de arroz gerados no plantio, não possuem outro tipo de reaproveitamento.

A casca de arroz possui baixa densidade e grande volume, características que dificultam e aumentam o custo de seu transporte. Este fato implica diretamente na destinação adequada destes resíduos.



Figura 6 – Casca de arroz

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

No que se refere ao processo produtivo, devido a grande quantidade de água necessária para a irrigação, a produção de arroz pode causar impactos ambientais aos recursos hídricos das proximidades da plantação. Uma alternativa para evitar este tipo de problema é a captação de água das chuvas para a irrigação, visando preservar os recursos hídricos citados.

No que tange a geração de resíduos provenientes da produção de arroz, pode-se listar os seguintes: casca, pó, cinza, quirela e farelo, palha, impurezas e outros. Dentre os citados destaca-se a casca e a palha que podem ser utilizados na geração de energia elétrica.

A casca de arroz representa 22% do peso do grão. Este resíduo é classificado como resíduo sólido conforme definição da NBR 10004 e de classe II (resíduos não perigosos e não inertes), segundo a resolução número 23 do CONAMA, sendo assim a casca de arroz, apesar de não ser considerado um resíduo perigoso, necessita de um tratamento apropriado para que não resulte em impactos negativos para o meio ambiente.

A destinação inadequada da casca de arroz pode gerar grandes passivos ambientais. Grande parte dos descartes inadequados se deve à logística de transporte da casca de arroz que, por possuir baixa densidade, gera grande volume e acarreta na elevação da dificuldade e dos custos de transporte.

Como exemplo de destinação inadequada pode-se citar o depósito das cascas de arroz diretamente no solo, em terrenos a céu aberto, pois com esse tipo de

descarte a casca leva aproximadamente cinco anos para se decompor e exala um elevado volume de metano (CH<sub>4</sub>) que é um gás causador do efeito estufa. Outra forma de descarte comum é o lançamento da casca de arroz em rios, ocasionando passivos ambientais às unidades beneficiadoras de arroz, gerando multas dos respectivos órgãos fiscalizadores e altos gastos com o tratamento do ambiente degradado.

Outra utilização da casca de arroz é servir como adubo nas lavouras de arroz, contudo, com este uso, a mesma também se decompõe e gera gás metano, sendo inclusive não muito vantajoso para o produtor, já que não possui muitos nutrientes. A utilização da casca de arroz como fonte energética é a que causa menor impacto ao meio ambiente, tendo em vista que, desta forma, há uma redução da emissão de gás metano para a atmosfera e a redução do uso de energia gerada por fontes não renováveis.

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e na safra 2009/2010 colheu 11,26 milhões de toneladas (MAPA, 2012). Sabe-se que a casca de arroz corresponde a 22% do peso do grão gerando 2,48 milhões de toneladas deste resíduo. Estima-se que 15% do total de casca de arroz sejam destinados a secagem do arroz e mais 15% não possam ser aproveitados por ter sua origem em pequenas indústrias dispersas, o que inviabiliza sua utilização. Com isso projeta-se uma quantidade de 1,74 milhões de toneladas de casca de arroz que possam ser reutilizáveis. A partir do poder calorífico de 3200 Kcal/Kg este número equivale a 0,55 milhões de tep e 6,46 TWh.

Para cada tonelada de arroz colhido são geradas 0,38 toneladas de palha de arroz. Considerando-se a produção da safra 2009/2010 tem-se uma produção de 4,3 milhões de toneladas deste resíduo. Para o poder calorífico de 3821 Kcal/Kg tem-se o equivalente a 1,6 milhões de tep e 19,01 TWh.

Tabela 10 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de casca de arroz.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Itaqui	4.200	100% para Camil Alimentos S/A	Itaqui – RS
Urbano São Gabriel	2.200	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	São Gabriel – RS
GEEA Alegrete	5.000	100% para Geradora de Energia Elétrica Alegrete Ltda.	Alegrete – RS
São Borja	12.500	100% para São Borja Bioenergética S/A	São Borja – RS



Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Rical	2.288	100% para Sociedade Assistencial Bandeirantes.	Vilhena – RO
Camil Alimentos – Camaquã	4.000	100% para Camil Alimentos S.A.	Itaqui – RS
Urbano Sinop	1.200	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	Sinop – MT
Kiarroz	1.200	100% para Indústria e Comércio de Arroz Fumacense Ltda.	Morro da Fumaça - SC
Total: 8 usinas		Potência total: 32.608 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

### 3.2.3 - Capim elefante

O capim elefante é uma gramínea perene com altura entre três e cinco metros. Foi trazida da África para servir de pastagem e é utilizada principalmente na criação de gado de corte e leiteiro. Suas principais características são: possui crescimento rápido, tolera solos pobres de nutrientes e gera uma quantidade maior de biomassa por área. Seu poder calorífico inferior é de 3441 Kcal/Kg (25% de água).

O capim-elefante pode ser colhido seis meses após o seu plantio e permite de dois a quatro colheitas por ano, o que possibilita fornecimento de biomassa durante todo o ano. O potencial energético do capim-elefante pode ser descrito com a relação de 45 toneladas/ha/ano de biomassa seca (MAZZARELLA, IPT) que podem virar energia. Além disso, a cultura do capim-elefante é altamente eficiente na fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico durante o processo de fotossíntese para a produção da biomassa vegetal, contribuindo para a redução do efeito estufa.

A transformação do capim-elefante em energia consiste em sua colheita mecanizada e posterior secagem. Em uma próxima etapa, o mesmo segue através de uma esteira para uma máquina onde as folhas são picadas em pequenos pedaços e onde é retirado o restante da umidade. Em seguida, estes pedaços são depositados em uma caldeira em que serão queimados e transformados em energia térmica.

O transporte do capim-elefante ainda é um dos pontos negativos de sua utilização como biomassa, pois sem passar pelo processo de secagem, o mesmo não

pode ser amontoado, pois corre risco de apodrecer e, após o processo de secagem, o volume do capim-elefante seco é grande.

Além do uso como fonte de energia elétrica, o capim-elefante pode ser transformado em carvão vegetal através do processo de pirólise e também pode ser utilizado na produção de álcool através do processo de gaseificação e hidrólise da biomassa.

O interesse energético do uso desta gramínea como biomassa é recente, sendo verificado nos últimos 10 anos. Por este motivo este uso ainda está sendo pesquisado e desenvolvido, passando por fases de avaliação da produção, produtividade e viabilidade econômica.

Uma das vantagens do uso do capim-elefante é a maior produtividade de massa seca, em média 45 toneladas/ha/ano. Para o poder calorífico desta biomassa e supondo uma área plantada de 4500ha, para fins ilustrativos, tem-se uma produção anual de 202500 toneladas que equivalem a 69,7 mil tep e 0,81 TWh.

Tabela 11 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso da biomassa de capim elefante.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Sykué I	30.000	100% para Sykué Geração de Energia Ltda.	São Desidério – BA
Flórida Clean Power do Amapá	1.700	100% para Flórida Clean Power do Amapá Ltda.	Macapá - AP
Total: 2 usinas		Potência total: 31.700 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

### 3.2.4 – Milho

O milho é uma gramínea anual originária da América Central. Possui tipicamente de dois a três metros de altura e não possui sabugo no topo da haste. O milho possui flores masculinas e femininas separadas, em que as flores masculinas emergem como a franja no topo da haste depois que todas as folhas se formaram. Já as flores femininas se encontram na base das folhas, no meio da haste. Após a polinização, o grupo de flores femininas forma as espigas.

Como impactos ambientais do cultivo do milho podem ser citados o uso intensivo de agroquímicos causando o surgimento de resistência em ervas daninhas, assim como de pragas e doenças, uso excessivo de água para irrigação, erosão do solo e degradação do mesmo, contaminação da água por escoamento e lixiviação de agroquímicos, perda de habitats e efeitos sobre a biodiversidade e a disseminação de pólen de lavouras geneticamente modificadas.

No processo de colheita do milho a utilização de máquinas é fundamental e aplicado praticamente à totalidade da produção. O milho é colhido e a própria máquina faz o beneficiamento do grão, retirando o caule, folhas, palha e sabugo, tendo como resultado o grão de milho limpo. Os grãos são depositados na própria máquina e os resíduos são despejados na lavoura, pela parte de trás da máquina. Essa é uma grande desvantagem, pois todos os resíduos do milho, chamados de palhada, ficam distribuídos por toda a área plantada, dispersos no ambiente. Este fato ocorre em toda produção a granel de milho no Brasil, o que praticamente inviabiliza a utilização da palhada na geração de energia elétrica devido aos altos custos para juntar e transportar estes resíduos. O poder calorífico da palhada de milho é de 4227 Kcal/Kg.

Uma exceção a este fato é a produção de milho em espiga, destinada a indústrias de processamento de milho verde. Neste cenário, a máquina utilizada na colheita beneficia somente a espiga do milho fechada, com palha e sabugo, descartando na lavoura o caule, talos e folhas. A retirada da palha e do sabugo é realizada na fábrica que produz o milho em conserva (enlatado) e, sendo assim, estes dois resíduos podem ser utilizados como biomassa em uma central termelétrica da própria fábrica.

Apesar das indústrias de processamento de milho verde existentes, atualmente não existem empreendimentos cadastrados na ANEEL que utilizem os resíduos da produção de milho como biomassa para a produção de energia elétrica. Como alternativa para transformar os resíduos de milho de biomassa descartada para biomassa energética, alguns países da Europa já utilizam um tipo específico de colheitadeiras que beneficiam o grão e descartam os resíduos em montes, carreiras ou os armazenam temporariamente em depósitos localizados na própria máquina. Esta metodologia poderia ser estudada e aplicada às plantações nacionais de forma a aproveitar o grande volume de resíduos gerados para a geração de energia elétrica.

Na safra 2009/2010 foram produzidas no Brasil 53,2 milhões de toneladas de milho (MAPA, 2012). Para cada tonelada de milho produzida são geradas aproximadamente 2,3 toneladas de palhada de milho (15% de umidade). A partir dessa relação estima-se a produção de 122,36 milhões de toneladas de palhada. Com um fator de aproveitamento de 40% tem-se 48,94 milhões de toneladas de resíduos.

Associando-se esta quantidade ao poder calorífico desta biomassa tem-se a equivalência de 20,69 milhões de tep e 240,61 TWh que poderiam ser aproveitados.

### 3.2.5 – Soja

A soja é um grão rico em proteínas e pertence a família fabaceae (leguminosa), assim como o feijão, a lentilha e a ervilha. O poder calorífico da palha de soja é de 3487 Kcal/Kg.

Na produção de soja as exigências térmicas e hídricas são altas, destacando-se as fases mais críticas que são a floração e a do enchimento dos grãos. Apesar destes fatos, a soja suporta bem a escassez de água na fase vegetativa e, no estágio de maturação e colheita, tolera excesso de umidade.

Tabela 12 – Informações técnicas da cultura de soja.

Item	Dado
Ciclo	105 a 135 dias
Teor de óleo no grão	20%
Teor de farelo	72% a 79%
Produtividade média (grão)	2800 Kg/ha
Rendimento em óleo	560 Kg/ha

Fonte: MAPA e SPAE, 2010

O processamento dos grãos de soja não gera resíduo e, sendo assim, todos os resíduos da cultura de soja são provenientes do processo de colheita, ou seja, os grãos são colhidos e a palha (folhas, caule, talos e cascas) é retirada e descartada na lavoura. Assim como na cultura do milho, esta característica torna sua utilização muito custosa devido aos gastos com o recolhimento, compactação e transporte dos resíduos. Ainda em comparação com a cultura do milho, o aproveitamento dos resíduos do plantio de soja ainda possui outra desvantagem, já que apresentam efeitos positivos no solo da lavoura.

Apesar do pouco aproveitamento dos resíduos de soja na geração de energia elétrica no Brasil, a soja já é bastante aproveitada como fonte de energia na forma de biocombustível através dos processos de transesterificação e craqueamento. Em comparação com outras culturas também utilizadas como matéria prima para a geração de biocombustíveis a soja possui uma baixa porcentagem de óleo, entretanto

suas vantagens são possibilitar a produção em escala e maior qualidade do óleo extraído.

No Brasil os grãos da soja são utilizados para muitos fins, contudo, a maior importância ainda é para a produção de grandes volumes de farelo para rações de animais e de óleo para alimentação humana. Grande parte da soja produzida no país se destina a atender o mercado externo.

A soja apresentou um crescimento bastante expressivo no Brasil na segunda metade do século XX, entretanto este crescimento transcorreu com a modernização do processo produtivo, mas mantendo-se a estrutura agrária vigente, ou seja, os latifúndios e a produção patronal. Devido a este fato, tal expansão excluiu produtores familiares, concentrou a posse das terras e aumentou o tamanho das propriedades agrícolas.

Com a supressão da cultura de subsistência, a população rural foi em busca de vagas assalariadas tanto no campo como na cidade e, como tal busca nem sempre era bem sucedida, houve conseqüências típicas como geração de conflitos, aumento da violência e crescimento urbano de maneira descontrolada, gerando desemprego, subemprego e miséria nas cidades.

Outro fator marcante na transformação da cultura de soja foi a desvalorização do conhecimento do produtor rural em virtude dos avanços técnico-científicos que mecanizou e aumentou a produção.

A soja é uma monocultura e como tal foi viabilizada através das pesquisas e avanços nas áreas de química, genética e mecânica. Contudo, tais tecnologias advindas destes avanços provocam diversos impactos ambientais como, por exemplo: compactação e impermeabilização dos solos pelo uso intensivo de máquinas agrícolas, erosão, contaminação por agrotóxico nas águas, alimentos e animais, impactos negativos provenientes da retirada da vegetação nativa de áreas contínuas extensas, assoreamento de rios e reservatórios, aparecimento de novas pragas e/ou aumento das já conhecidas e risco à sobrevivência de espécies vegetais e animais com a perda de habitat natural devido a expansão agrícola.

Como outros tipos de cultura, o plantio de soja também pode causar diminuição dos recursos hídricos devido a água necessária para irrigação.

Existem algumas práticas utilizadas visando minimizar os danos causados pela sojicultura no ambiente, tais como: utilização de um sistema de plantio adequado, prática da rotação de culturas e métodos de irrigação adequados visando a minimização do desperdício de água.

Pelos mesmos motivos apresentados no texto referente a cultura do milho, atualmente não existem empreendimentos cadastrados na ANEEL que utilizam os

resíduos da produção de soja como biomassa para a produção de energia elétrica. Ainda é um potencial a ser estudado e, caso haja viabilidade técnica e econômica, explorado.

Na safra 2009/2010 foram produzidas no Brasil 68,7 milhões de toneladas de soja (CONAB, 2012). Para cada tonelada de soja produzida são geradas aproximadamente 2,5 toneladas de palha de soja (15% de umidade), a partir dessa relação estima-se a produção de 171,75 milhões de toneladas de palha. Com um fator de aproveitamento de 40% tem-se 68,70 milhões de toneladas de resíduos. Associando esta quantidade ao poder calorífico desta biomassa tem-se a equivalência de 23,96 milhões de tep e 278,61 TWh que poderiam ser aproveitados.

### 3.3 - Biomassa oriunda de rejeitos urbanos e industriais

A biomassa contida em resíduos sólidos e líquidos urbanos têm origens diversas, e se encontra no lixo e no esgoto. O lixo urbano é uma mistura heterogênea de metais, plásticos, vidro, resíduos celulósicos e vegetais, e matéria orgânica. As rotas tecnológicas de seu aproveitamento energético são: a combustão direta, a gaseificação, pela via termoquímica, após a separação dos materiais recicláveis, e a digestão anaeróbica, na produção de biogás, pela via biológica. O esgoto urbano possui matéria orgânica residual diluída, cujo tratamento é uma imposição sanitária, que através da rota tecnológica de digestão anaeróbica encontra aplicação energética.

Também se enquadram nesta categoria os subprodutos das atividades agroindustriais e da produção animal: uma expressiva quantidade de subprodutos resultantes das atividades agroindustriais e da produção animal é tratada como resíduo, porém possui potencial energético importante, que varia segundo a rota tecnológica empregada, que pode variar desde a transformação termoquímica, com combustão direta, pirólise ou gaseificação, passando pelas transformações biológicas e físico-químicas, incluindo a digestão anaeróbica.

#### 3.3.1 - Rejeitos urbanos sólidos e líquidos

Os rejeitos urbanos líquidos consistem nos efluentes líquidos de origem doméstica e residencial. Já os rejeitos sólidos podem ser definidos como uma mistura heterogênea de materiais descartados pelos setores comerciais e residenciais, tais como: plásticos, metais, vidros, madeiras, papéis e matéria orgânica, cuja combinação é vulgarmente chamada de lixo.

Os efluentes líquidos são descartados nas redes de esgoto e de lá seguem para as estações de tratamento. Após o tratamento nestas estações, uma massa orgânica é produzida, vulgarmente chamada de lodo. O lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto está sendo alvo de estudos e pesquisas, visando seu aproveitamento na geração de energia elétrica através da rota tecnológica de digestão anaeróbica.

O despejo dos efluentes líquidos sem tratamento diretamente no mar, em rios, em córregos e em lagoas, causa a poluição destes recursos naturais.

Com relação aos rejeitos sólidos urbanos existem três rotas tecnológicas mais aceitáveis pra o processamento desta biomassa, a biodigestão anaeróbica é a que apresenta mais vantagens, pois além de um processo com maior rendimento energético, possui considerável capacidade de despoluir, permite valorizar um produto energético (biogás) e ainda obter um fertilizante, cuja disponibilidade contribui com a rápida amortização dos custos da tecnologia instalada.

O biodigestor é uma estrutura projetada e construída de modo a produzir a situação mais favorável possível para que a degradação da biomassa seja realizada sem contato com o ar. Este fato proporciona condições ideais para que certos tipos especializados de bactérias, altamente vorazes em se tratando de materiais orgânicos, passem a predominar no meio e, com isso, provocar a degradação de forma acelerada (Itaipu Binacional / FAO, 2009).

O biogás gerado a partir dos rejeitos sólidos possui a seguinte composição: metano ( $\text{CH}_4$ ): 60% a 70%, gás Carbônico ( $\text{CO}_2$ ): 30% a 40% e traços de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

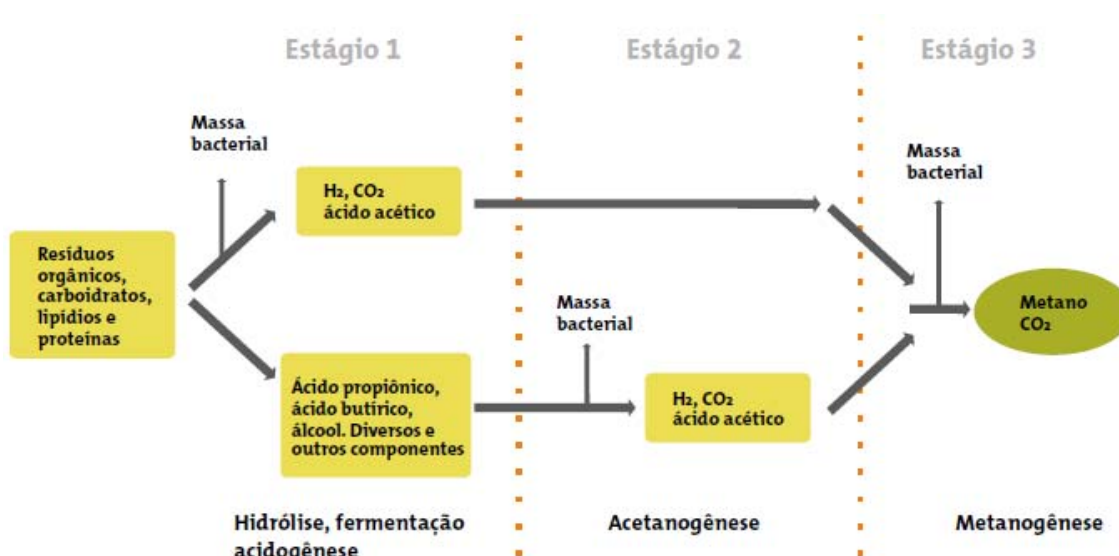


Figura 7 – Fases da produção de biogás.

Fonte: Bley Jr., 2008

O poder calorífico do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa e varia de 5000 a 7000 Kcal/m<sup>3</sup>. Se submetido a processo de purificação, pode gerar um valor de até 12000 Kcal/m<sup>3</sup>. O metano é um gás incolor e altamente combustível, não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha.

Tabela 13 – Equivalência entre o biogás e outros combustíveis.

Combustível	Equivalente a 1 m <sup>3</sup> de biogás
Gasolina	0,613 litros
Óleo Diesel	0,553 litros
GLP	0,454 Kg
Lenha	1,536 Kg
Álcool Hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Ministério de Minas e Energia: Empresa de Pesquisas Energéticas - Plano Nacional de Energia 2030 - Brasília: MME:EPE, 2007

No Brasil, o lixo é comumente coletado por empresas contratadas para prestar tal serviço e é transportado para grandes áreas abertas onde é despejado, áreas estas conhecidas como lixões. Em determinados intervalos de tempo estes resíduos são revolvidos e cobertos por camadas de terra. Contudo, na grande maioria das vezes, estas áreas recebem o lixo descartado por residências e comércios sem quaisquer tipos de pré-seleção destes materiais. Estes rejeitos, quando acumulados em área aberto durante algum tempo, se tornam um grave problema ambiental, trazendo mau cheiro, doenças e dando origem a um líquido altamente tóxico, o chorume.

O chorume é um líquido poluente de cor escura e com forte odor desagradável, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos contidos no lixo. Com a ação da água da chuva este composto é carregado para mananciais, rios, córregos, podendo atingir lençóis freáticos, poluindo estes recursos naturais.

Os impactos sanitários são mais contundentes junto às populações gerando as chamadas doenças de saúde pública. Sabe-se que o lixo urbano é veiculador de doenças, propriedade que se torna mais intensa em virtude da proliferação dos vetores biológicos (moscas, mosquitos, baratas, ratos) transmissores de bactérias e fungos de características patogênicas. O excesso de matéria orgânica (frutas, legumes, alimentos) presentes no lixo urbano constitui-se em habitat ideal para proliferação desses vetores, fato que aliado ao alto índice de desnutrição da



população pobre do país tem produzido conseqüências danosas, principalmente à população infantil. Dentre as doenças mais comuns associadas a falta de saneamento do lixo podem ser citadas a febre tifóide e paratifóide, a salmonelose, a giardíase, a ascaridíase e uma série de doenças intestinais, além da cólera, dengue e leptospirose.

Outro impacto social é a prática condenável da catação de resíduos em ruas, avenidas, mercados, feiras e nos próprios lixões, realizada por homens, mulheres e crianças que vivem em condições subumanas nessas áreas de despejos, em contato, sem nenhum tipo de proteção ou orientação, com materiais contaminados e perigosos, caso do lixo tóxico e do lixo hospitalar.

Tabela 14 – Produção de rejeitos sólidos urbanos por habitante e suas características.

Produção por habitante	0,6 – 0,8 Kg/dia
Umidade	45% a 55%
Densidade média	250 – 300 Kg/m <sup>3</sup>
Poder calorífico médio do lixo	2750 – 3200 Kcal/Kg
Poder calorífico do biogás	5000 – 7000 Kcal/m <sup>3</sup>
Produção média de biogás	0,15 – 0,30 m <sup>3</sup> /Kg

Fonte: CETESB, 2006.

No Brasil são geradas 169.659 toneladas de lixo por dia (ABRELPE, 2008), resultando em uma produção de 61,92 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos urbanos. Grande parte destes resíduos se localiza em lugares dispersos ou em pequenos aterros sanitários, inviabilizando a instalação de uma planta geradora. Por esse motivo, a título de exemplo, é considerado um fator de aproveitamento de 40%, sendo assim consideradas 24,77 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Com este quantitativo, considerando o poder calorífico médio do biogás como 5000 Kcal/m<sup>3</sup> e adotando-se uma produção média de biogás de 0,15 m<sup>3</sup>/Kg de rejeito, tem-se o equivalente de 1,86 milhões de tep e 21,60 TWh que poderiam ser aproveitados.

No que diz respeito aos rejeitos urbanos líquidos, são produzidos 32 milhões de metros cúbicos de águas residuais por dia no Brasil. Deste total, apenas 14 milhões são coletados e somente 4,8 milhões de metros cúbicos de esgoto são tratados, volume que corresponde a apenas 15% do total produzido; o serviço é estendido a apenas 44% das famílias brasileiras. O restante é descartado de forma indiscriminada nos rios. Visando ilustrar o potencial energético deste resíduo, aplicando-se um fator de aproveitamento de 40% sobre o montante de esgoto tratado, resultando numa produção aproveitável de 1,92 milhões de metros cúbicos. Levando-se em consideração a relação de uma produção média de biogás de 0,15 m<sup>3</sup>/Kg e o poder

calorífico do biogás de 5000 Kcal/m<sup>3</sup>, tem-se a equivalência de 0,960 mil tep e 0,01 TWh que poderiam ser aproveitados.

### 3.3.2 - Rejeitos industriais sólidos e líquidos

São rejeitos de criadouros, abatedouros, destilarias, fábricas de laticínios, indústria de processamento de carnes, entre outros, onde os mesmos podem ser utilizados na geração de biogás. A composição do biogás, resultante da biomassa residual de criadouros de animais é geralmente a seguinte: metano (CH<sub>4</sub>) 40-70% vol, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 30-60% vol, outros gases 1-5% vol, hidrogênio (H<sub>2</sub>) 0-1% vol e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) 0-3% vol (COLELHO, 2000) e o poder calorífico deste biogás também está relacionado diretamente ao teor de metano como já foi dito em referência a rejeitos urbanos sólidos e líquidos.

Tabela 15 – Cálculo da emissão anual de metano originário de dejetos da exploração pecuária, segundo espécies, em mil toneladas anuais.

<b>CH<sub>4</sub> de dejetos</b>				
	<b>Aves</b>	<b>Suínos</b>	<b>Bovinos</b>	<b>Soma</b>
Mundo	970,00	8.380,00	7.490,00	16.840,00
Brasil	56,2	292,78	1.012,70	1.361,70
BR/Mundo	6%	3%	14%	8%

Fonte: STEINFELD *et al.*, 2006.

Os rejeitos industriais sólidos e líquidos comumente são produzidos em baixa escala e em locais dispersos. Mesmo considerando uma pequena geração de biomassa anual nestes locais, estes rejeitos podem ser utilizados para produzir biogás e gerar energia elétrica mediante estudos de viabilidade. Esta energia produzida será utilizada pela própria indústria, criadouro, destilaria, abatedouro, fábrica de laticínio, entre outros, em seus processos e, se possível, o excedente poderá ser comercializado.

A fiscalização ambiental referente ao controle de odores e poluição das águas por rejeitos animais está cada vez mais restritiva, sendo assim os produtores ligados a este mercado estão buscando alternativas para tratar estes rejeitos. O investimento em biodigestores é uma das opções aplicáveis para gerenciamento destes dejetos e

pode dar retorno tendo em vista que os produtores podem se tornar auto-suficientes em energia elétrica, promovendo a geração distribuída de forma eficiente.

Tabela 16 – Produção diária de resíduos sólidos e líquidos de alguns animais.

Rejeito	Unidade	Suínos	Frango de corte	Gado de corte	Gado de leite
Sólidos	%próprio Volume/dia	5,1	6,6	4,6	9,4
Líquidos	Kg/animal/dia	2,3 – 2,5	0,12 – 0,18	10 - 15	10 - 15

Fonte: KONZEN, E. A., 1980.

Tabela 17 – Quantidade de rejeitos necessários para produção de 1m<sup>3</sup> de biogás.

Matéria prima	Quantidade
Esterco fresco de bovino	25Kg
Esterco seco de frango	2,3Kg
Esterco seco de suínos	2,86Kg

Fonte: CASTANÓN, N.J.B., 2002.

Como exemplo ilustrativo pode-se simular a produção de biogás a partir de um criadouro que possua uma quantidade de 10.000 cabeças de gado de corte. Através dos dados da Tabela 16 pode-se verificar que a produção diária de rejeitos sólidos de gado de corte é de 10 Kg/animal/dia. Para o período de um ano e considerando as 10.000 cabeças de gado, a quantidade de rejeitos sólidos produzidos seria de 36.500 toneladas. Utilizando-se os dados da Tabela 17 verifica-se a necessidade de 25 Kg de esterco bovino para a produção de 1m<sup>3</sup> de biogás, sendo assim as 36.500 toneladas geradas resultariam em 1,460 milhão de m<sup>3</sup> de biogás. Tomando-se como referência o valor de 5.000 Kcal/m<sup>3</sup> para o poder calorífico do biogás, o potencial energético equivale a 0,730 mil tep ou 0,008TWh.

Tabela 18 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso do biogás.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Salvador	19.730	100% para Termoverde Salvador S.A.	Salvador – BA
Bandeirante	20.000	70% para Biogeração Energia S/A, 30% para União dos Bancos Brasileiros S.A.	São Paulo – SP
São João Biogás	21.560	100% para São João Energia Ambiental S/A	São Paulo – SP
Energ-Biog	30	100% para Biomass Users Network do Brasil	Barueri – SP
Unidade Industrial de Aves	160	100% para Cooperativa Agroindustrial Lar	Matelândia – PR
Unidade Industrial de Vegetais	40	100% para Cooperativa Agroindustrial Lar	Itaipulândia – PR
ETE Ouro Verde	20	100% para Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar	Foz do Iguaçu – PR
Granja Colombari	32	Não identificado	Não identificado
Star Milk	110	100% para Ibrahim Faiad	Céu Azul – PR
Asja BH	5.000	100% para Consórcio horizonte Asja	Belo Horizonte – MG
Arrudas	2.400	100% para Companhia de Saneamento de Minas Gerais	Belo Horizonte – MG
Granja São Pedro / Colombari	80	100% para José Carlos Colombari	São Miguel do Iguaçu – PR
Ambient	1.500	100% para Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A	Ribeirão preto – SP
Granja Makena	80	100% para Altair Olimpio de Oliveira	Patrocínio – MG

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Ajuricaba	80	100% para prefeitura Municipal de Marechal Cândido Rondon	Marechal Cândido Rondon – PR
Fazenda Nossa Senhora do Carmo	80	100% para Sérgio Elias Saraiva	Ituiutaba- MG
Total: 16 usinas		Potência total: 70.902 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

## 4 - Processos de conversão energética da biomassa

O processo de conversão de biomassa se realiza através de rotas tecnológicas e produtivas bem diversificadas, como pode ser verificado através da Figura 9. Existem diversas fontes, as quais incluem resíduos agrícolas, florestais, industriais, urbanos e, dependendo das viabilidades técnicas e econômicas, até culturas cultivadas especificamente para este fim. Com o objetivo de se aproveitar a energia presente em tais fontes foram desenvolvidos diversos processos de conversão, que são classificados, segundo a natureza dos processamentos primários aplicados à biomassa em: termoquímicos, bio-químicos e físico-químicos.

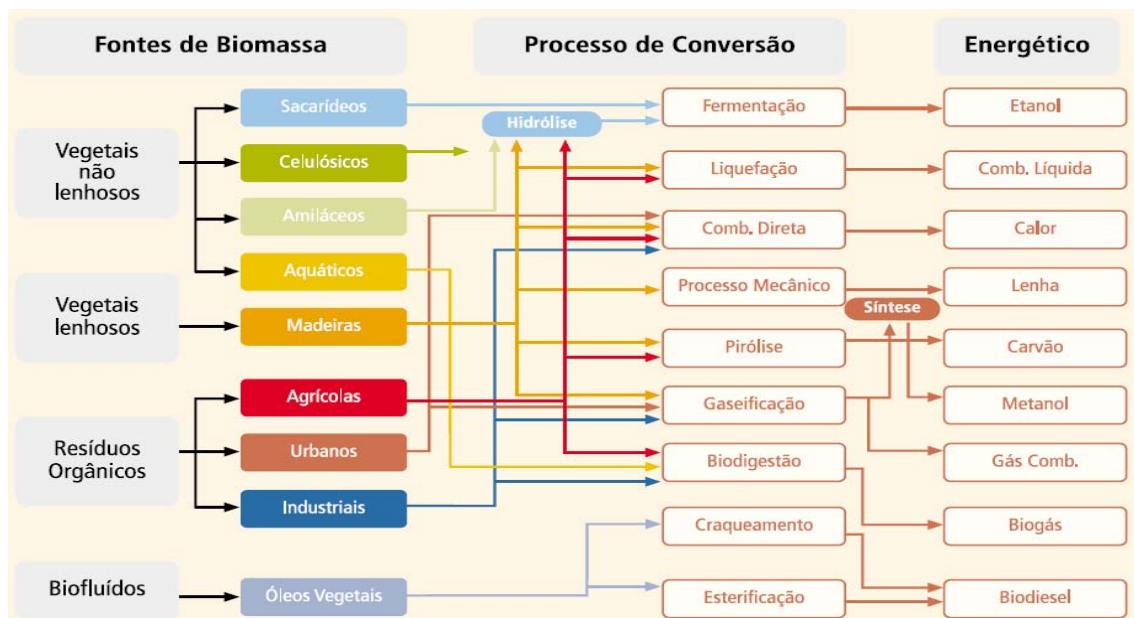


Figura 8 – Diagrama esquemático dos processos de conversão da biomassa.

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2008.

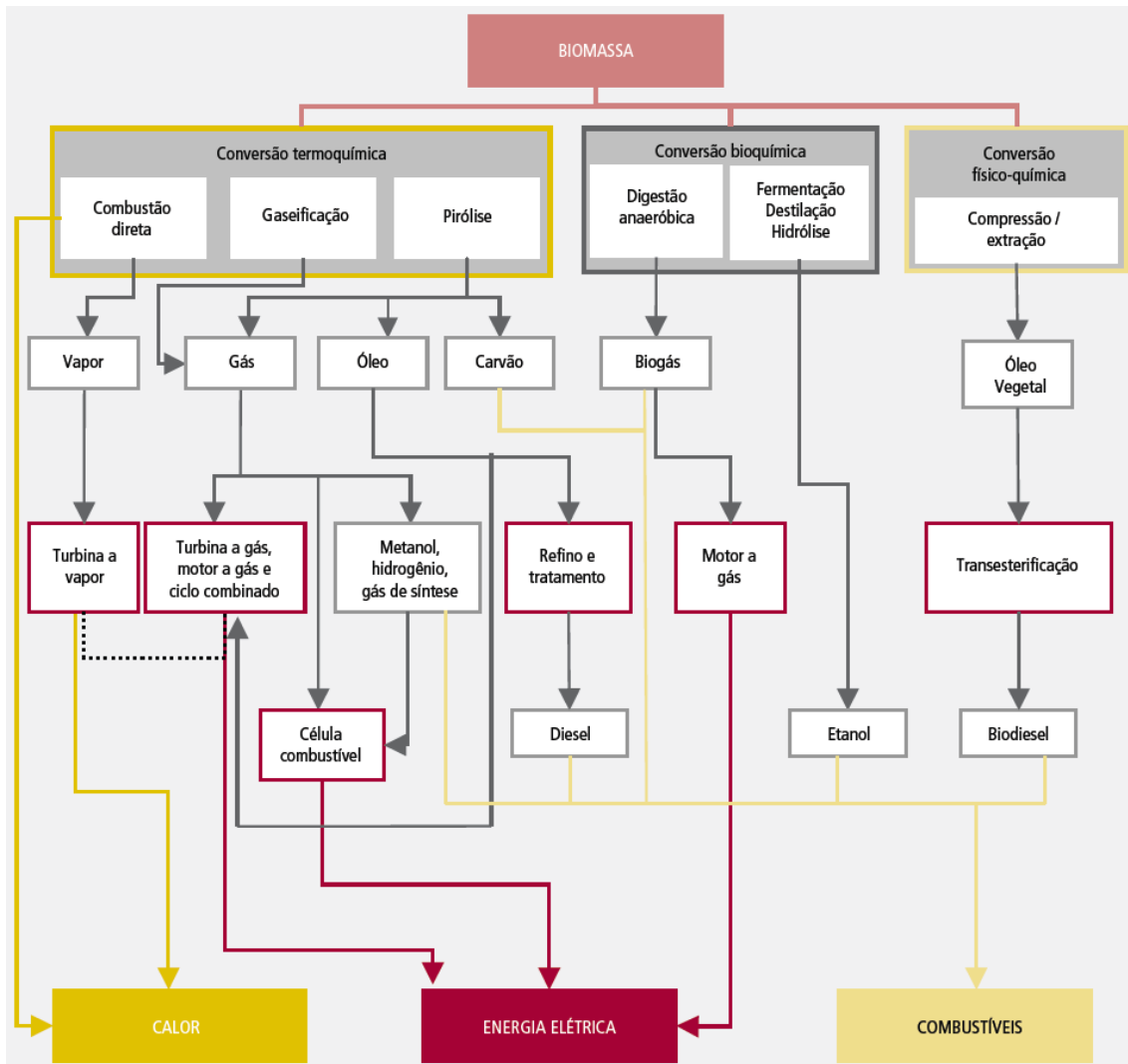


Figura 9 – Rotas tecnológicas de conversão energética da biomassa.

Fonte: EPE, Plano Nacional de Energia 2030.

#### 4.1 - Conversão termoquímica

A conversão termoquímica ocorre quando a energia “quimicamente armazenada” na biomassa é convertida em calor por meio da combustão. Uma larga variedade de tecnologias capazes de converter a biomassa em energia está disponível através da via termoquímica, e sua diferenciação está associada à quantidade de oxigênio que é fornecido ao processo, tendo como referência o valor do coeficiente estequiométrico (número que antecede cada fórmula química), resultando nas vias de combustão direta, pirólise e gaseificação (DINKELBACH, 2000). Todos estes processos são baseados na decomposição térmica da carga combustível primária e na combustão dos produtos resultantes da decomposição.

Combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). Embora muito prático e às vezes conveniente, o processo de combustão direta é 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 combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2005).

Neste processo é fornecida uma quantidade suficiente de oxigênio para se conseguir a combustão completa da biomassa. Como produto dessa queima tem-se um gás de combustão com elevada temperatura composto principalmente por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O) e nitrogênio (N<sub>2</sub>).

No processo de pirólise a biomassa é aquecida a temperaturas relativamente baixas, entre 500°C e 800°C, em uma atmosfera com pouquíssima ou nenhuma presença de oxigênio, 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, tal como o carvão vegetal; líquidos, como o óleo pirolítico; e gasosos, como o gás pirolítico.

Existem diversos processos de pirólise, sendo os mais antigos a carbonização, normalmente utilizado com madeira, e a destilação seca ou destrutiva. Na carbonização são utilizadas baixas taxas de aquecimento visando maximizar a produção de carvão vegetal. Já na destilação seca são empregadas taxas de aquecimento mais altas, objetivando maximizar a produção de líquidos.

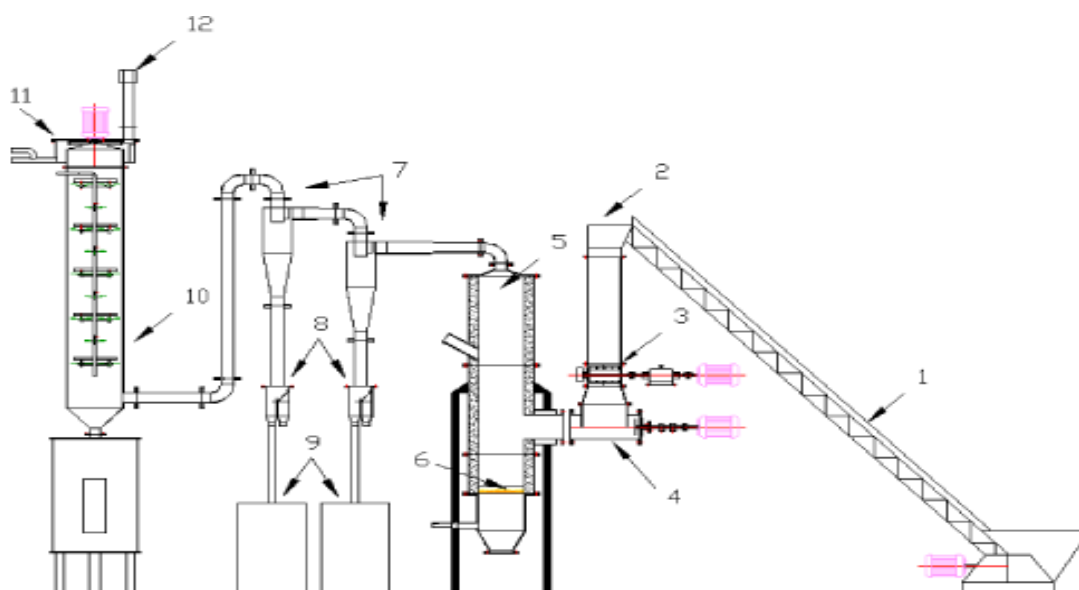
Após diversas pesquisas, houve mudanças substanciais na produção dos gases, líquidos e sólidos resultantes do processo de pirólise através do aumento das taxas de aquecimento e das variações da temperatura final do processo. Tais descobertas proporcionaram novas técnicas de pirólise conhecidas como rápida, *flash* e ultra-rápida, com aumento de rendimento de líquidos (bioóleo).



Tabela 19 – Versões da tecnologia de pirólise.

Processo de pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura máxima (°C)	Produtos principais
Carbonização	Horas – dias	Muito pequena	400	Carvão vegetal
Convencional	5 a 30 min	Pequena	600	Bio-óleo, carvão e gás
Rápida	0.5 a 5s	Intermediária	650	Bio-óleo
Flash pirólise	<1s	Alta	<650	Bio-óleo, gás
Ultra-rápida	<0.5s	Muito alta	1000	Produtos químicos e gás combustível
Vácuo	2 – 30s	Intermediária	400	Bio-óleo
Hidropirólise	<10s	Alta	<500	Bio-óleo e produtos químicos
Metanopirólise	<10s	Alta	>700	Produtos químicos

Fonte: Bridgwater e Bridge, 1991



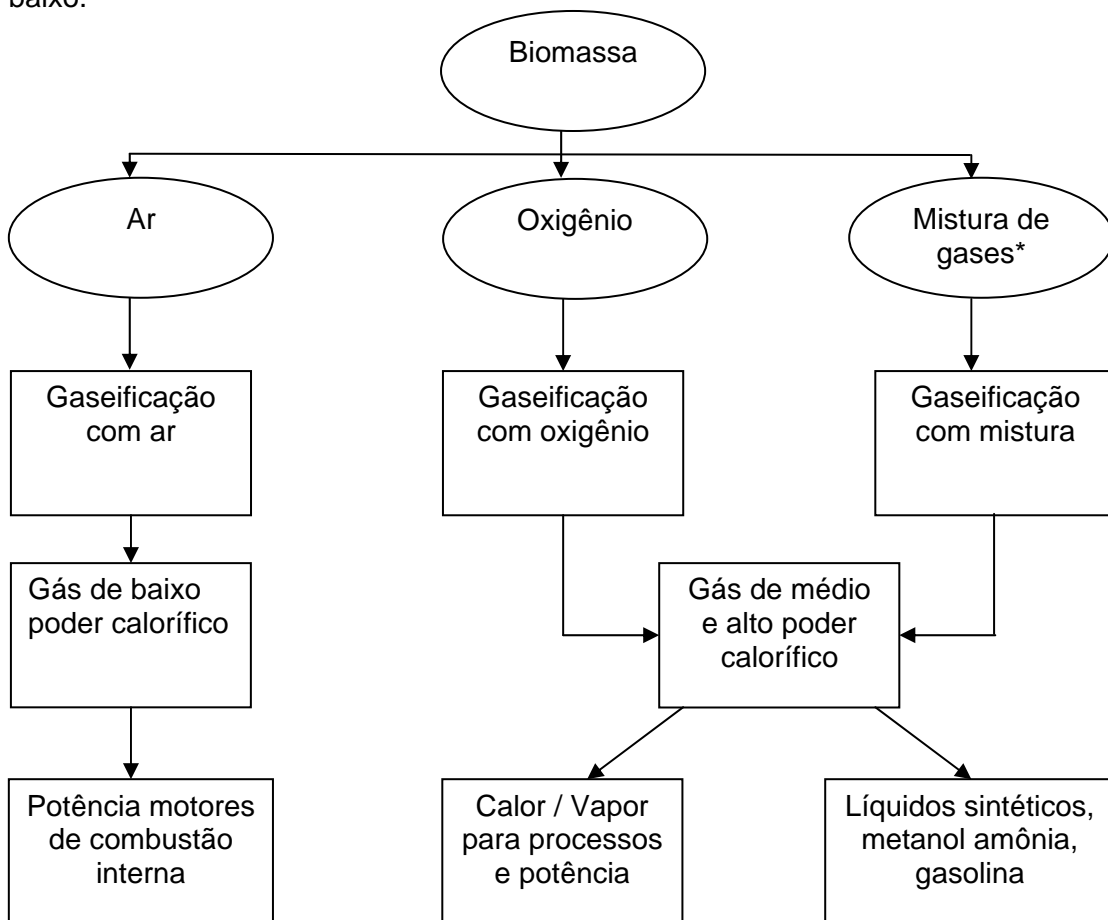
1 - esteira transportadora. 2 - silo. 3 - dosador de biomassa. 4 - rosca alimentadora.  
 5 - reator de leito fluidizado. 6 - placa distribuidora de ar. 7 - dois ciclones em série para separar os particulados de carvão. 8 - válvula de amostragem de carvão. 9 - tambores para armazenar o carvão. 10 - sistema de recuperação de particulados de carvão via úmida. 11 - sistema de recuperação de bio-óleo. 12 - chaminé.

Figura 10 – Esquema da planta de pirólise rápida da Unicamp

Fonte: PEREZ, 2006.

A gaseificação é o processo termoquímico de converter um insumo sólido ou líquido num gás, também chamado de *produzir gás* ou gás pobre, com características basicamente combustíveis, através de sua oxidação parcial a temperaturas intermediárias, isto é, temperaturas acima das recomendadas nos processos de pirólise rápida e abaixo das recomendadas nos processos de combustão (CORTEZ, 2008).

O processo de gaseificação é realizado através da injeção controlada de ar, oxigênio puro ou uma mistura destes com vapor de água. Esta escolha é baseada no uso final do gás obtido, sendo o gás gerado através da gaseificação com ar de baixo poder calorífico e o gás gerado através da injeção de oxigênio puro ou, a partir de uma mistura de gases, 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 (base seca), a partir da injeção de ar, contem 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.



\* Mistura basicamente de oxigênio e vapor de água ou ar enriquecido com oxigênio e vapor de água.

Figura 11 – Rotas de gaseificação baseada no tipo de agente gaseificante.

Fonte: CORTEZ, 2008.

A gaseificação da biomassa possui muitas aplicações práticas, dentre elas a produção de eletricidade e calor, contudo para estes casos o processo de gaseificação deve ser comparado, técnico e economicamente, com a combustão direta da biomassa, combustíveis fósseis e outros combustíveis alternativos.

O uso da gaseificação para o processo de co-geração de energia pode ser dividido em relação a densidade da biomassa utilizada como insumo e o tamanho do empreendimento. Utilizando-se biomassas de alta densidade, principalmente madeira, são utilizados gaseificadores de leito fixo (bandejas). Em pequenas plantas, estes são acoplados a motores do ciclo Otto e, para projetos de larga escala, são pressurizados com carvão fóssil. Já no caso do uso de biomassas de baixa densidade (dispersas), são propostos gaseificadores de leito fluidizado (leito de partículas inertes) tanto atmosféricos como pressurizados.

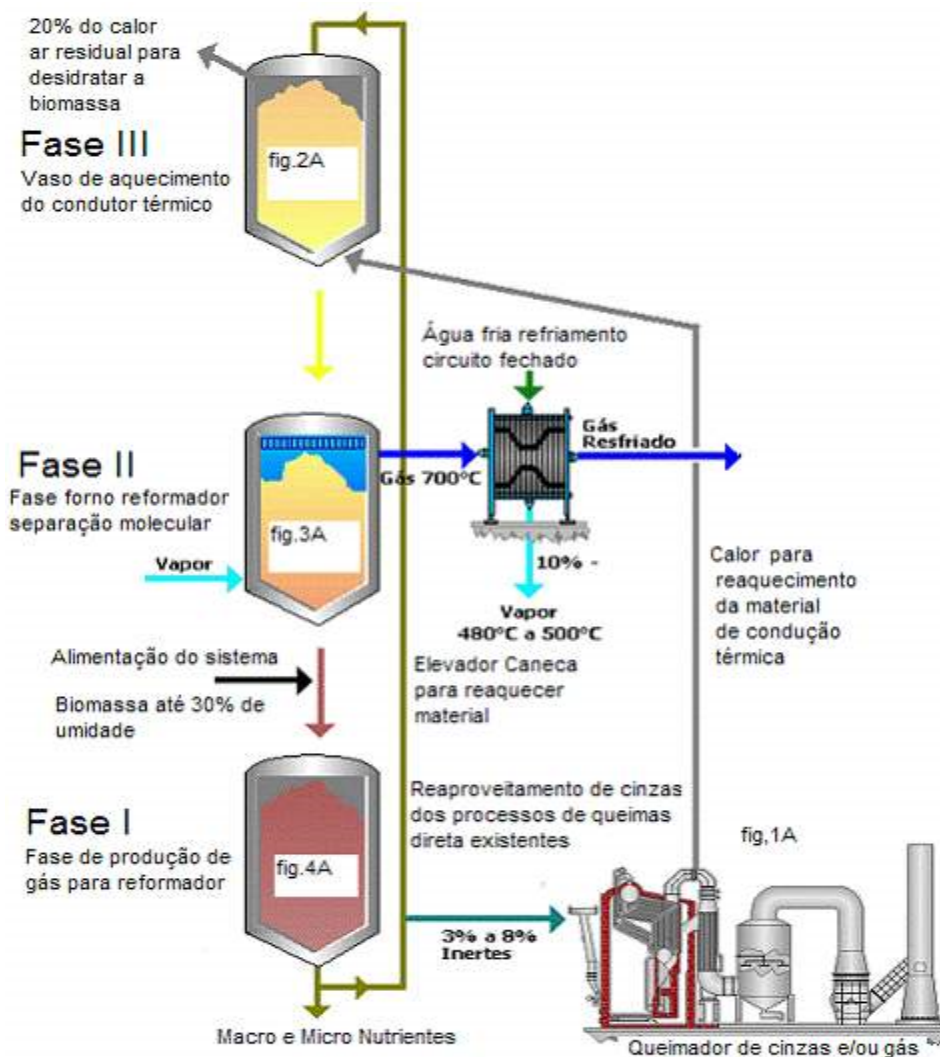


Figura 12 – Exemplo de unidade de gaseificação de biomassa.

Fonte: <http://inovabrasil.blogspot.com>, acesso em 25/01/2012.

## 4.2 - Conversão físico-química

A via de conversão físico-química da biomassa é aquela que utiliza técnicas para disponibilização de lipídios através da compressão e esmagamento de matérias vegetais diversas e extração dos óleos vegetais, que posteriormente sofrerão transformação química. As transformações químicas variam segundo o produto final a ser obtido. Os óleos vegetais podem ser processados através de esterificação direta, sendo então diretamente utilizáveis em motores a combustão interna (VERINGA, 2000). Por outro lado, estes mesmos óleos vegetais podem ser convertidos, para a produção de biodiesel, através de uma série de processos tecnológicos diferentes, sendo os mais comuns a transesterificação alcoólica por via catalítica ácida, básica ou enzimática e o craqueamento catalítico ou térmico. A evolução tecnológica nos últimos anos mostra tendências para a adoção da transesterificação com metanol e etanol como processo principal para o uso em mistura com o diesel derivado de petróleo (MACEDO e NOGUEIRA, 2005).

Os processos de esterificação e craqueamento não estão relacionados diretamente com a utilização da biomassa como alternativa energética, por este motivo são apenas citados. Já o processo de transesterificação é utilizado na produção de biodiesel através da utilização de biomassas específicas.

Transesterificação é um processo químico que consiste na reação de óleos e gorduras com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre alcoóis (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio) (RIBEIRO, 2001).

Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário (ANEEL, 2005)

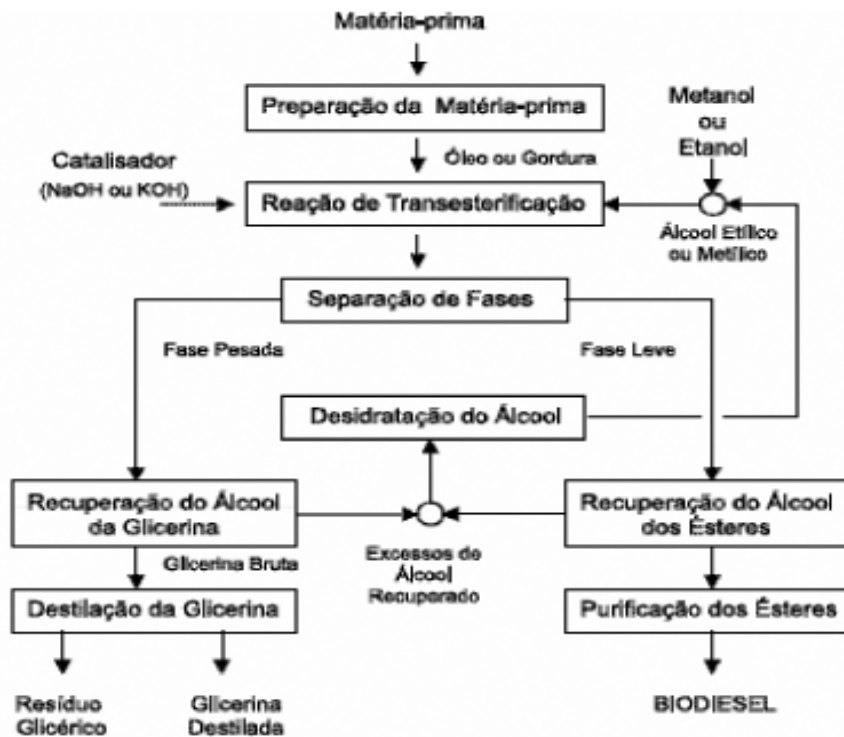


Figura 13 – Processo de obtenção do biodiesel a partir da transesterificação.

Fonte: GENOVESE, 2006.

#### 4.3 - Conversão bioquímica

A via bioquímica de conversão da biomassa é aquela que utiliza processos biológicos e químicos, que incluem a digestão anaeróbica, a fermentação/destilação e a hidrólise. A fermentação/destilação e a hidrólise são rotas que apresentam as mais adequadas condições para produção de combustíveis líquidos (etanol) derivados da biomassa, sendo a primeira, já tradicionalmente empregada no mundo todo para a produção de etanol, utilizando matérias-primas variadas, com base nos conteúdos sacarídeos e amiláceos. A hidrólise é um processo que realiza a sacarificação de materiais celulósicos (conversão em açúcares), este produto intermediário segue, então, para o ciclo de fermentação/destilação convencional. Há inúmeras opções de processos, como a catálise ácida ou enzimática, ou mesmo a hidrólise e a fermentação realizadas simultaneamente, sendo que todas elas requerem um pré-tratamento para remoção da lignina, e às vezes separação da hemicelulose, seguida pela hidrólise propriamente dita, fase na qual ocorre a quebra das ligações das cadeias complexas de açúcares. Os pré-tratamentos são físicos (picadores, moagem), físico-químicos (auto-hidrólise: descompressão com vapor, com amônia ou com CO<sub>2</sub>), químicos (com ozônio, ácidos diluídos ou concentrados, alcalino) ou com solventes (para dissolver a lignina).

Na biodigestão anaeróbica ocorre a degradação biológica da matéria orgânica através da ação de diversos microorganismos na ausência de oxigênio.

Todos estes processos estão em fase de desenvolvimento e sua operação será essencial para o desenvolvimento final de sistemas comerciais.

O processo de fermentação consiste basicamente na conversão de açúcares, principalmente glicose, frutose ou sacarídeos, em etanol e CO<sub>2</sub>. No Brasil os substratos mais importantes deste processo são provenientes da cana-de-açúcar, respectivamente o caldo de cana, o melaço e mistura desses dois componentes.

Além do açúcar outros parâmetros devem ser levados em consideração no processo industrial da fermentação, tais como: teor de água, teor de macro e micronutrientes, presença de microorganismos, teor de sólidos insolúveis, pH, poder-tampão (resistência a mudança de pH) e presença de compostos tóxicos ou inibidores.

Parâmetros do açúcar (matéria-prima) que não estejam enquadrados dentro das especificações adequadas geram aumento do custo de produção, seja pela necessidade de se adicionar algum outro insumo, seja pela necessidade de execução de um pré-tratamento mais caro da matéria-prima ou então por causar uma redução ou no rendimento em álcool ou no seu teor final.

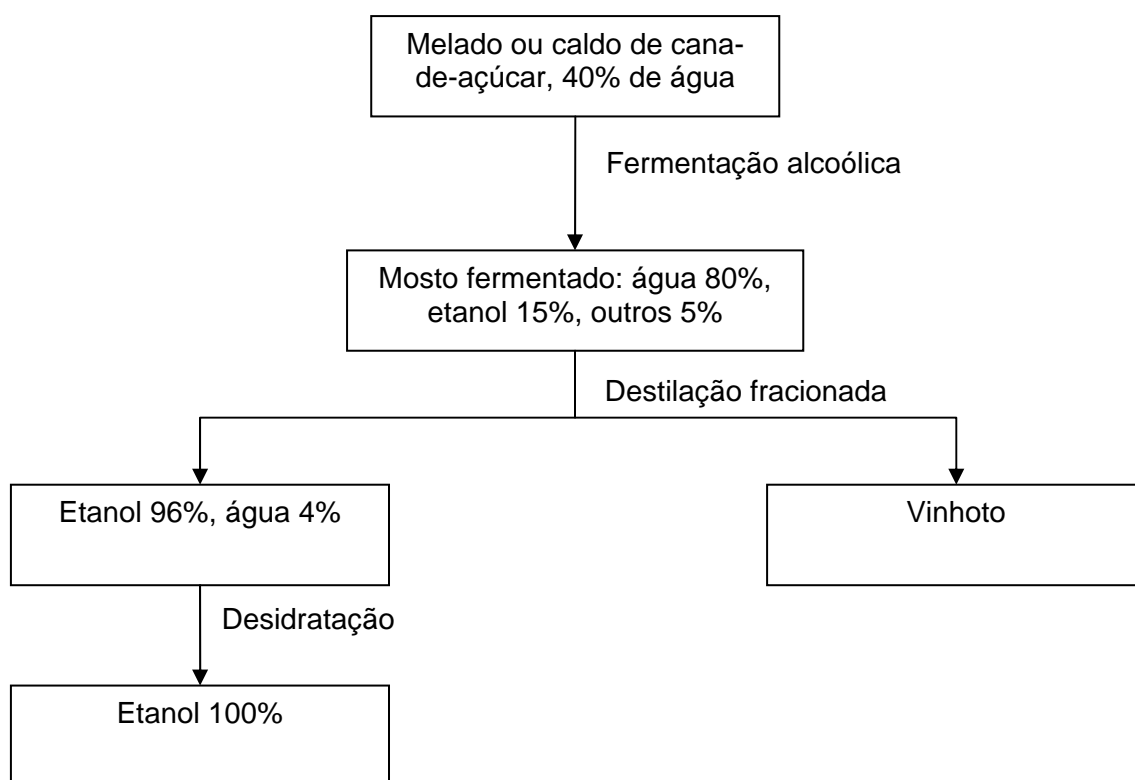


Figura 14 - Exemplo do processo de fermentação para formação de etanol.

Fonte: Elaboração própria.

Na produção de etanol também é necessária a realização de outro processo, a destilação fracionada. A destilação é um processo caracterizado por uma dupla mudança de estado físico, em que uma substância, inicialmente no estado líquido, é aquecida até atingir a temperatura de ebulição, transformando-se em vapor, e novamente resfriada até que toda a massa retorne ao estado líquido. Contudo, quando os componentes da mistura apresentam pontos de ebulição muito próximos, o mais leve excesso de aquecimento é suficiente para evaporá-los juntos. Para solucionar este problema recorre-se a destilação fracionada onde é inserida uma coluna de fracionamento ao processo.

O processo de destilação fracionada é executado logo após a fermentação alcoólica gerando etanol 96% e vinhoto. Para a obtenção de etanol 100% o produto etanol 96% + 4% de água ainda deve passar por um processo de desidratação. Já o outro resíduo gerado pela destilação fracionada, o vinhoto, pode ser aproveitado através da biodigestão anaeróbica, com obtenção de biogás. Atualmente o principal destino do vinhoto é a fertilização na lavoura de cana-de-açúcar. Para cada litro de etanol produzido, são deixados em média doze litros de vinhoto como resíduos.

Nos dias atuais a sacarose da cana-de-açúcar é a matéria-prima mais utilizada na produção de etanol. Entretanto, muitas pesquisas vêm sendo realizadas para viabilizar o uso de material lignocelulósico hidrolisado como matéria-prima. A hidrólise é definida como sendo uma reação química de uma molécula pela água. Este investimento nesta nova tecnologia visa a redução dos custos da produção e o aumento da quantidade de etanol por área plantada.

O material celulósico é composto por lignina, hemicelulose, e da celulose, e assim são chamados materiais lignocelulósicos. As funções básicas da lignina são fornecer a sustentação estrutural do vegetal e compor grande parte da matéria do vegetal. A lignina não contém nenhum açúcar, sendo difícil a sua conversão neste. As moléculas da celulose consistem em correntes longas de moléculas da glicose, como as moléculas dos amiláceos, mas possuem uma configuração estrutural diferente e ainda são encapsuladas pela lignina, tornando-as mais difíceis de hidrolisar que os materiais amiláceos. A hemicelulose também é composta por cadeias longas de moléculas de açúcar, e contém, além da glicose (hexose), pentoses (açúcares com cinco carbonos). Para complicar, a composição exata do açúcar da hemicelulose pode variar dependendo do tipo de vegetal. Uma vez que a quantidade de pentoses é grande, a capacidade de recuperar e fermentar estes açúcares é importante para a eficiência e a economia do processo de hidrólise de materiais celulósicos. Microorganismos especiais devem ser geneticamente desenvolvidos para fermentar as pentoses e permitir a conversão em etanol com eficiência relativamente elevada. Há

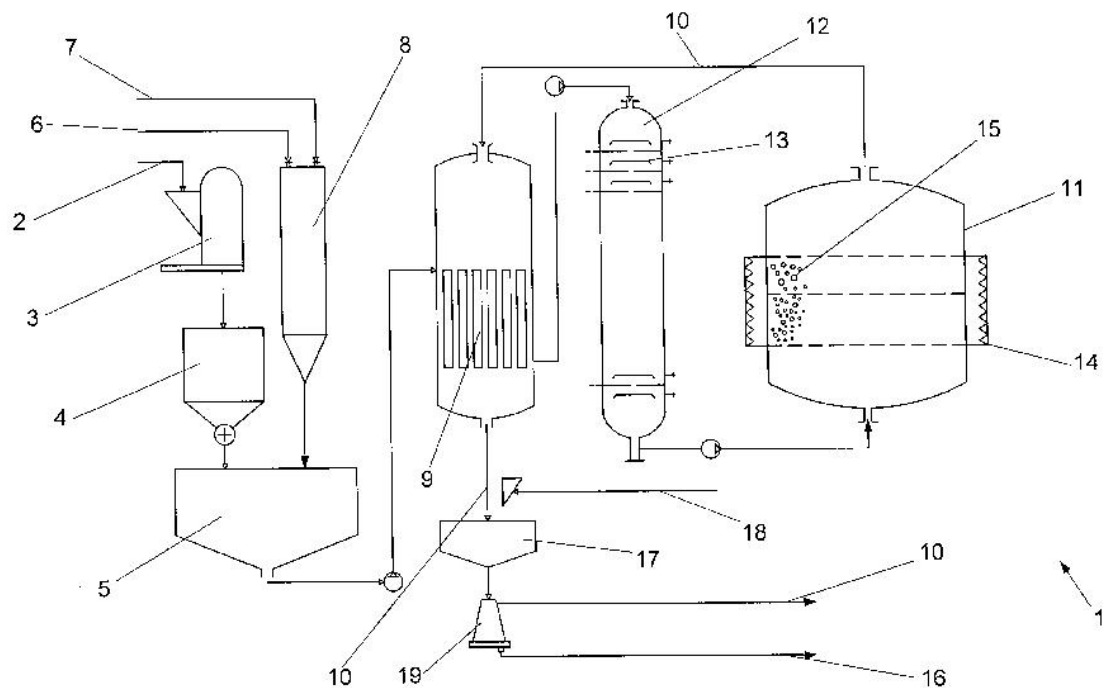
três tipos básicos de hidrólise de materiais celulósicos: o processo ácido, o processo enzimático e o processo termoquímico, com variações para cada um deles. O mais comum é a hidrólise ácida, onde todo ácido pode ser usado, entretanto o ácido sulfúrico é normalmente mais utilizado por ter um custo menor.

Comparativamente, a hidrólise com ácido diluído se encontra em um estágio mais avançado que as demais, mas com altos limites de rendimento (50-70%). A hidrólise com ácido concentrado apresenta rendimentos maiores e menores problemas com a produção de inibidores, só que a necessidade de recuperação do ácido e de equipamentos resistentes à corrosão compromete o desempenho econômico do processo. Já a hidrólise enzimática apresenta altos rendimentos (75-85%), e grandes melhorias ainda são esperadas (85-95%); além disso, a não utilização de ácidos pode representar uma grande vantagem econômica (equipamentos com materiais mais baratos e menor custo operacional) e ambiental (não há produção de resíduos). (HAMELINCK, 2005).

No Brasil há destaque para dois tipos de material celulósico, o bagaço de cana-de-açúcar e as florestas de eucalipto, pois existem grandes quantidades destes dois insumos em solo nacional. Adicionalmente, outra fonte de material celulósico é a folhagem ou palha da cana que, com o uso crescente de colhedoras automáticas, a palha que antes era queimada no campo durante a colheita, torna-se disponível, podendo ser aproveitada para gerar energia no lugar do bagaço de cana, ou como matéria-prima para a hidrólise (CORTEZ, 2008).

Enquanto a rota tecnológica de conversão baseada na fermentação seguida de destilação já é amplamente desenvolvida e utilizada no mundo, as rotas de hidrólise estão em franco processo de desenvolvimento.





1 – Processo de hidrólise ácida contínua e controlada de substâncias celulósicas; 2 – entrada do bagaço de cana; 3 – moinho desfibrador; 4 – silo pesador; 5 – condicionador; 6 – injeção de ácido sulfúrico; 7 – injeção de água; 8 – tanque de reagente; 9 – trocador de calor; 10 – entrada / saídas de licor (produção de etanol); 11 – reator de indução; 12 – coluna de polarização; 13 – placas eletrolíticas; 14 – bobina de indução; 15 – duas camadas de esferas ocas de ferro; 16 – lignina com partículas não hidrolisadas; 17 – tanque de neutralização; 18 – injeção de carbonato de sódio; 19 – centrífuga.

Figura 15 – Exemplo de processo de hidrólise ácida.

Fonte: GIANETTI, 2007.

A digestão anaeróbica, assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar, porém nesse caso o processo consiste na decomposição do material pela ação de microrganismos (bactérias acidogênicas e metanogênicas). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos. A Figura 17 ilustra o processo da digestão anaeróbica.

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbica em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35°C.

Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno

de 5.000 kcal/m<sup>3</sup>. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante, conforme o ciclo apresentado na Figura 16.

A digestão anaeróbia pode ser utilizada tanto em resíduos líquidos quanto em resíduos sólidos, e a conversão da matéria orgânica em biogás pode reduzir de maneira significativa o poder poluente dos resíduos. Assim, o desenvolvimento tecnológico da biodigestão anaeróbia está ligado à problemática do tratamento dos resíduos industriais, dos resíduos urbanos, como é o caso dos esgotos, e dos resíduos provenientes das atividades agropecuárias, como é o caso dos estercos.

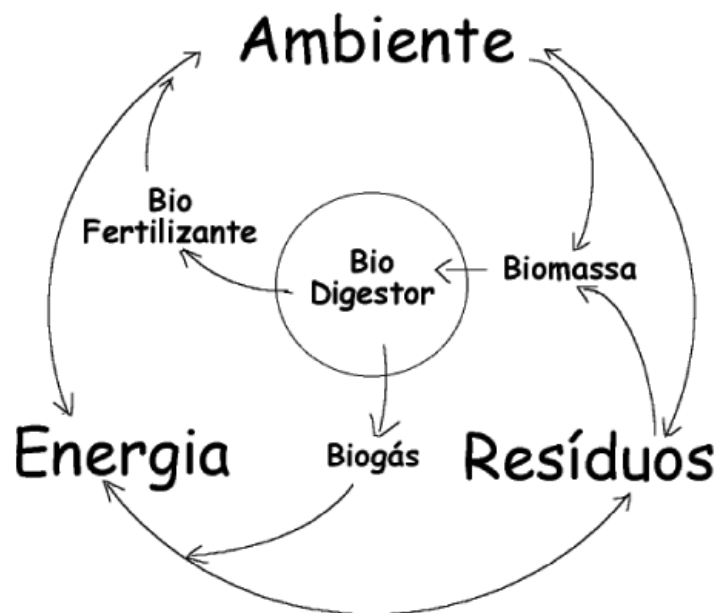


Figura 16 – Integração do biodigestor ao biociclo.

Fonte: MUNIZ, 2002.

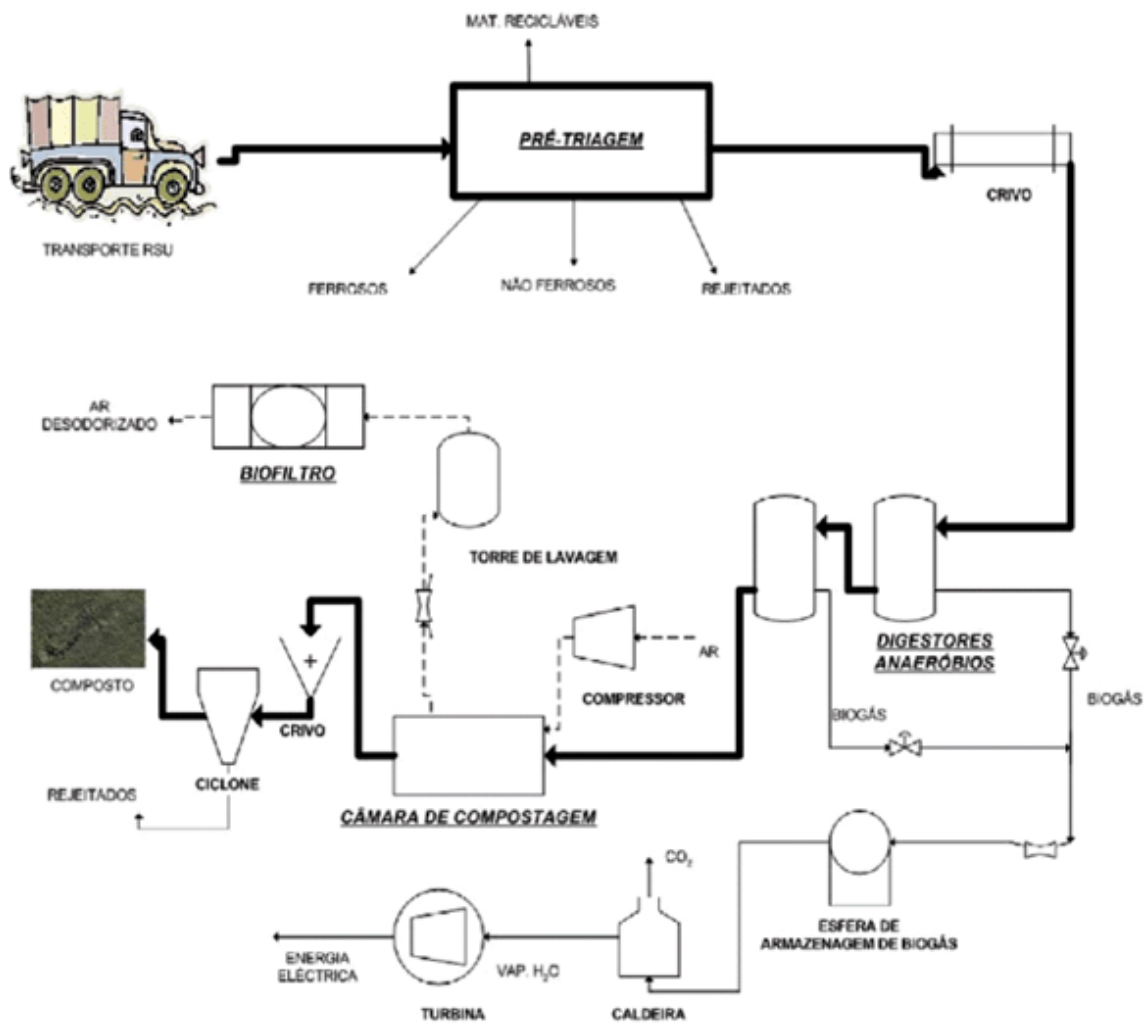


Figura 17 – Diagrama processual da digestão anaeróbica.

Fonte: PUNA, 2008.

## 5 - Geração de energia elétrica através da biomassa

Por longos anos o carvão mineral foi a principal fonte de energia no mundo, contudo com o advento da eletricidade no início do século XIX este cenário começou a se transformar. Desde então, a utilização de energia elétrica passou a ganhar espaço como fonte energética consumida pela sociedade, e ao longo do tempo foi se tornando cada vez mais centralizada através do aumento das capacidades unitárias das centrais geradoras. Tais centrais utilizam combustíveis fósseis de alta densidade que, até pouco tempo, se justificavam pelo caráter determinante sobre os custos de geração, do fator de escala, pela inexistência de maiores restrições com relação aos impactos ambientais e também em função do próprio modelo de organização empresarial que imperou no setor durante anos (CORTEZ, 2008).

Porém, após a segunda metade dos anos setenta, houve mais uma mudança no setor de energia devido às oscilações do preço do petróleo. Este fato teve influência direta no setor de energia elétrica já que causou elevação dos custos da geração desta energia, realizada por meio das tecnologias convencionais. Somado à turbulência do mercado energético também, nesta mesma época, houve o crescimento da preocupação da sociedade com os impactos ambientais que tais atividades causavam, implicando em novas leis e regulamentações em diversas partes do mundo.

O direcionamento tomado para a solução deste problema foi o investimento, de caráter descentralizador, em plantas de co-geração, na produção de energia elétrica em pequena escala, na produção independente (geração distribuída) e em fontes energéticas renováveis.

Neste contexto é inserida a geração de energia elétrica por intermédio da biomassa. Nos anos noventa foi criada grande expectativa quanto ao papel a ser assumido pela biomassa na geração de eletricidade, entretanto, o que se vê atualmente é um crescimento bem menor do que o esperado naquela época.

Do ponto de vista das tecnologias de produção de eletricidade a partir do uso de biomassas, as rotas tecnológicas possíveis incluem os sistemas baseados nos ciclos a vapor (que usualmente empregam combustíveis sólidos), os sistemas baseados em motores de combustão interna (ou mesmo combustão externa) e em turbinas a gás (alternativa que requer combustíveis líquidos e gasosos, com determinadas especificações físico-químicas) e os sistemas baseados em células a combustível (CORTEZ, 2008).

## 5.1 - Ciclos a vapor

A rota tecnológica para produção de energia elétrica mais viável atualmente é a baseada em ciclos de vapor, na qual é necessária a queima da biomassa para a geração de calor e sua conseqüente utilização na geração de vapor. O combustível mais utilizado neste tipo de processo é a biomassa em estado sólido, porém também podem ser utilizados resíduos no estado líquido, como é o caso da lixívia negra.

A relação custo-benefício e a viabilidade econômica em sistemas de ciclo de vapor são altamente influenciadas por fatores como a proximidade da planta de geração à fonte de biomassa, custos de transporte e manuseio, além dos teores de umidade do composto orgânico e tecnologias usadas na conversão energética da biomassa (MME:EPE, 2007).

O vapor pode ser aproveitado individualmente em processos industriais termodinâmicos, gerando aquecimento ou trabalho mecânico, ou em processos de geração termoelétrica. Todavia, o melhor rendimento e eficiência são alcançados com a combinação destas duas aplicações, através do processo de co-geração. Para que uma planta de co-geração seja viável deve-se ter conhecimento das quantidades de trabalho mecânico, de energia elétrica e de calor ou frio visando a integração dos processos e a adequada especificação dos equipamentos a serem utilizados.

As alternativas consideradas para geração de energia elétrica a partir da biomassa em ciclos de vapor são: o ciclo com turbinas de contrapressão, empregado de forma integrada a processos produtivos através da co-geração; e o ciclo de turbinas de condensação e extração, que operam de forma isolada ou integrada ao processo produtivo também por intermédio da co-geração (TOLMASQUIM, 2005; MME:EPE, 2007).

Os ciclos de co-geração podem ser divididos em dois tipos: *topping* e *bottoming*. No tipo *bottoming* o calor é aproveitado inicialmente em processos térmicos de alta temperatura e posteriormente para a geração de energia elétrica. Já no processo tipo *topping*, o mais comumente usado, o calor é aproveitado inicialmente em uma turbina visando a geração de energia elétrica e em uma segunda etapa nos processos térmicos.

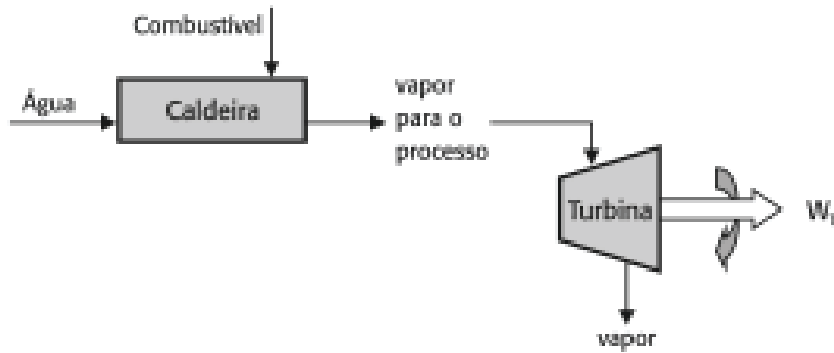


Figura 18 – Sistema de co-geração tipo *bottoming*.

Fonte: VELASQUEZ, 2000

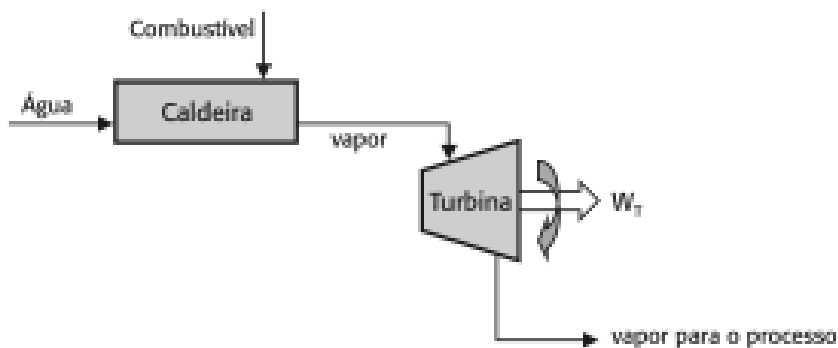


Figura 19 – Sistema de co-geração tipo *topping*.

Fonte: VELÁZQUEZ, 2000

O tipo topping ainda pode ser dividido em dois subtipos: os que operam com turbinas de contrapressão e os que operam com turbinas de condensação e extração.

No primeiro caso, com turbinas de contrapressão, a geração de energia elétrica fica restringida pelo consumo de energia térmica do processo de produção, já que é no processo produtivo onde o vapor é condensado e bombeado de volta para a caldeira. Nesta configuração, o sistema apresenta baixo desempenho energético e baixa capacidade de produção.

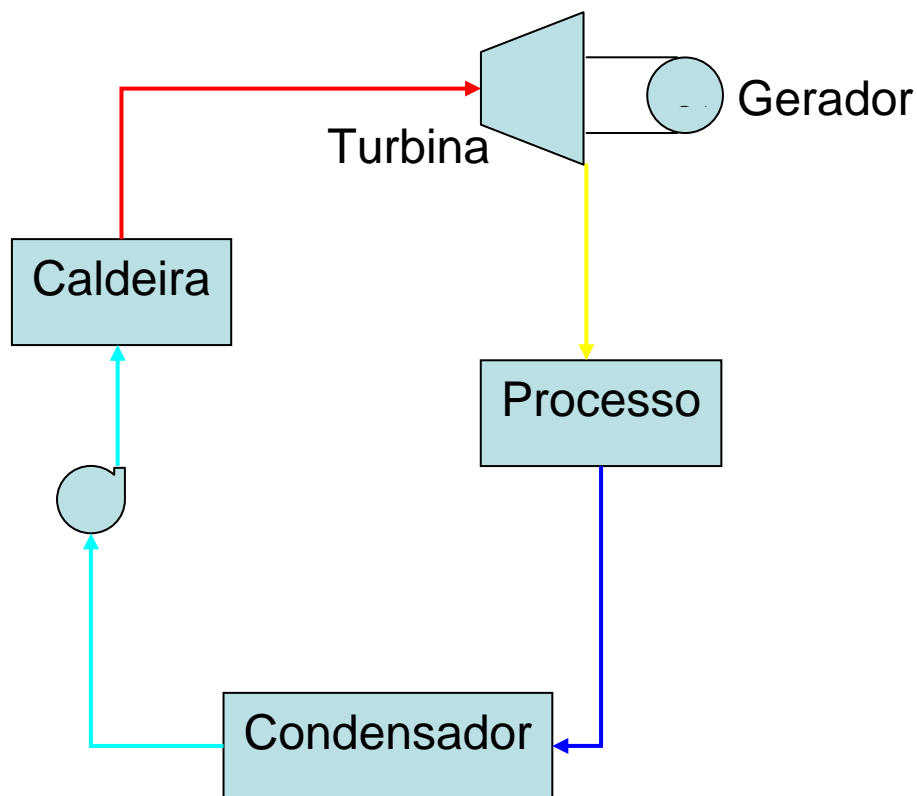


Figura 20 – Ciclo a vapor em contrapressão em co-geração *topping*.

Fonte: Elaboração própria.

Parâmetro	Valores
Temperatura de operação (°C)	480
Pressão de operação (MPa)	6,0
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	1.607
Eficiência das caldeiras - Base PCSu (%)	67%
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.600
<b>Geração de energia elétrica</b>	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	215
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	-
Eficiência das turbinas (%)	60,0
<b>Eficiência da geração termelétrica</b>	
Co-geração (%)	7,0
Escala até (MW)	50

Figura 21 – Características técnicas dos ciclos a vapor com turbinas de contrapressão para geração de energia elétrica

Fonte: MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.

No caso do ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração o vapor, ao final da realização de trabalho na turbina, é totalmente ou parcialmente condensado no condensador localizado na exaustão da turbina. O vapor solicitado pelo processo produtivo é extraído de pontos intermediários da própria turbina. Este sistema apresenta ganhos significativos de eficiência e de capacidade de geração em comparação às turbinas de contrapressão, pois permitem a utilização de caldeiras mais avançadas e uma maior manipulação condições do vapor (temperatura e pressão).

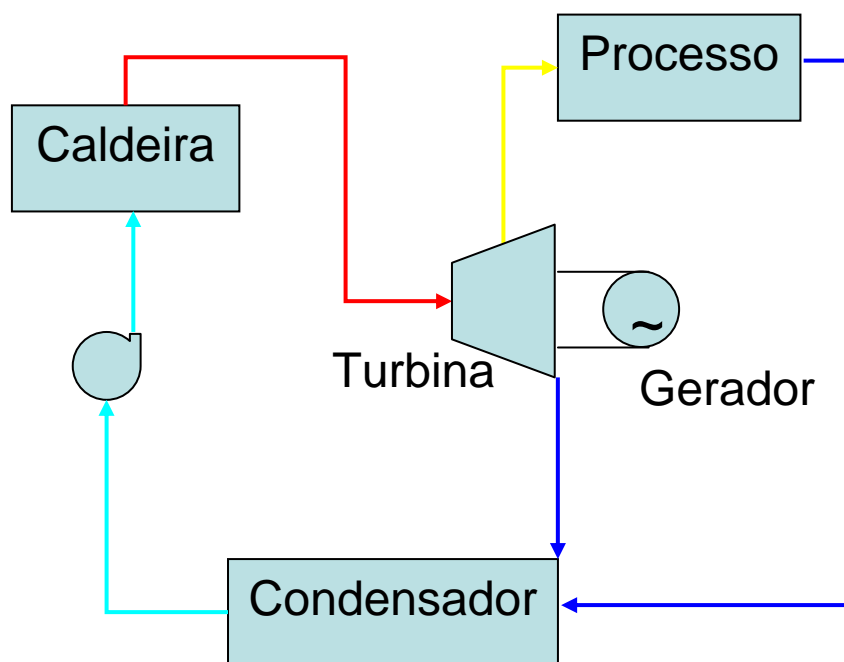


Figura 22 - Ciclo a vapor de condensação e extração em co-geração topping.

Fonte: Elaboração própria.



Parâmetro	Valores
Temperatura de operação (°C)	530
Pressão de operação (MPa)	8,5
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	3.000
Eficiência das caldeiras - Base PCSu (%)	85
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.150
<b>Geração de energia elétrica</b>	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	340
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	530
Eficiência das turbinas (%)	75,0
<b>Eficiência da geração termelétrica</b>	
Co-geração (%)	12,7
Geração pura (%)	20,0
Escala até (MW)	100

Figura 23 - Características técnicas dos ciclos a vapor com turbinas de condensação e extração para geração de energia elétrica.

Fonte: MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.

## 5.2 - Gaseificação da biomassa e uso de turbinas a gás

O processo de gaseificação é definido como a conversão de qualquer combustível, seja ele sólido ou líquido, em um gás energético através da oxidação parcial em um ambiente com temperatura elevada. Esta conversão é realizada em gaseificadores e produzem um gás combustível que pode ser utilizado em uma turbina a gás para a produção de energia elétrica. Sendo assim, neste processo, a biomassa pode ser considerada uma importante fonte primária para geração de elevadas potências em centrais termoelétricas.

Durante a década de noventa uma verdadeira revolução se processou na tecnologia de geração termoelétrica no mundo e seu principal agente foi a aplicação das novas e eficientes plantas baseadas em turbinas a gás (MACCHI, 1991). Os principais agentes desta transformação das turbinas a gás são o desenvolvimento de sistemas eletrônicos de controle, da fluido-dinâmica, da metalurgia e de novos materiais. Por este motivo, os ciclos de geração térmica baseados em turbinas a gás se encontram, atualmente, em um estágio maduro de confiabilidade e eficiência.

Embora a tecnologia de gaseificação de biomassa já tenha se tornado viável e prática ainda são necessários superar alguns obstáculos para que a mesma se torne competitiva comercialmente. A maior dificuldade se encontra no desenvolvimento de

um equipamento que produza gás de qualidade e se adapte aos diversos combustíveis que podem ser utilizados em sua operação.

A seguir serão apresentados os quatro principais sistemas que podem ser aplicados a tecnologia de geração de energia elétrica através da gaseificação da biomassa.

O primeiro sistema engloba a tecnologia de gaseificação de biomassa à turbina a gás em ciclo simples, também conhecido na literatura como BIG-GT. Este é o ciclo com gaseificação mais simples, de menor eficiência e menor custo de investimento, onde o fluido de trabalho é apenas o ar comprimido aquecido pelo combustível e expandido na turbina que está acoplada a um gerador elétrico.

Quando este ciclo é utilizado em processos de co-geração se faz necessário a utilização de um gerador de vapor (caldeira) para atender às necessidades térmicas utilizando os gases recuperados da exaustão da turbina como fonte de energia.

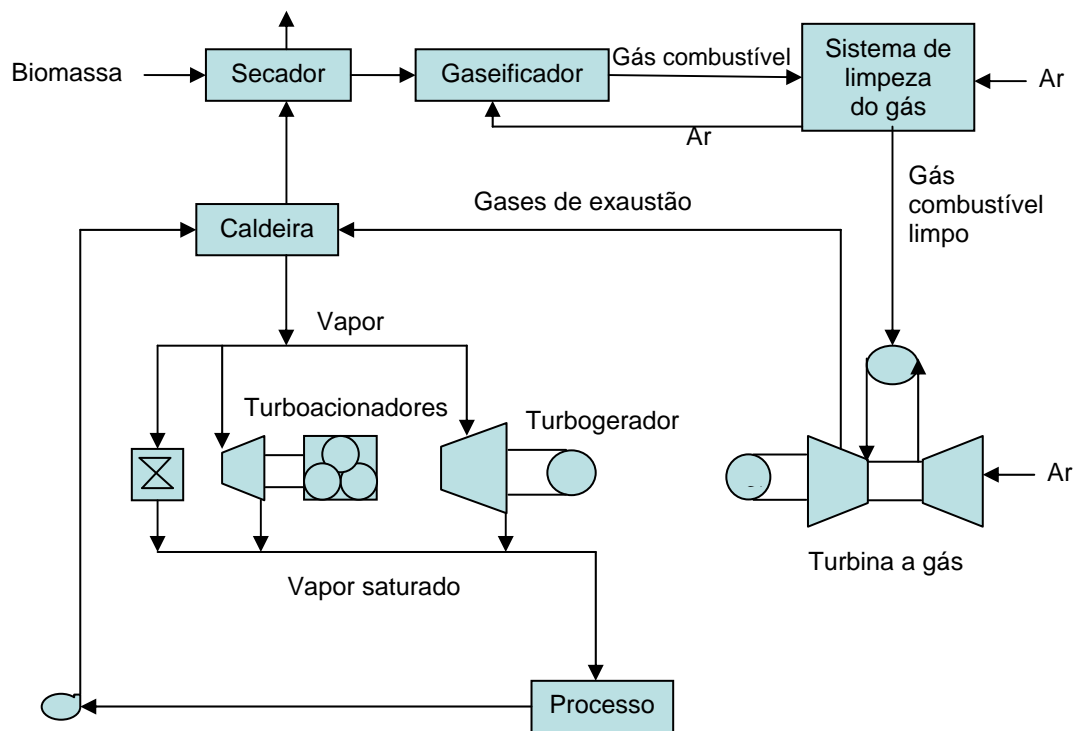


Figura 24 – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-GT em co-geração *topping*.

Fonte: adaptado TOLMASQUIM, 2005.

O segundo processo a ser descrito é um dos aprimoramentos do processo de ciclo simples da turbina a gás. É conhecido como BIG-STIG e consiste na injeção direta de vapor na turbina a gás. As turbinas utilizadas nesta configuração são

aeroderivativas e a injeção de vapor d'água na turbina é realizada para aumentar a potência gerada na máquina, aumentando-se assim o fluxo mássico e o calor específico do fluido de trabalho, e para reduzir as emissões de NOx.

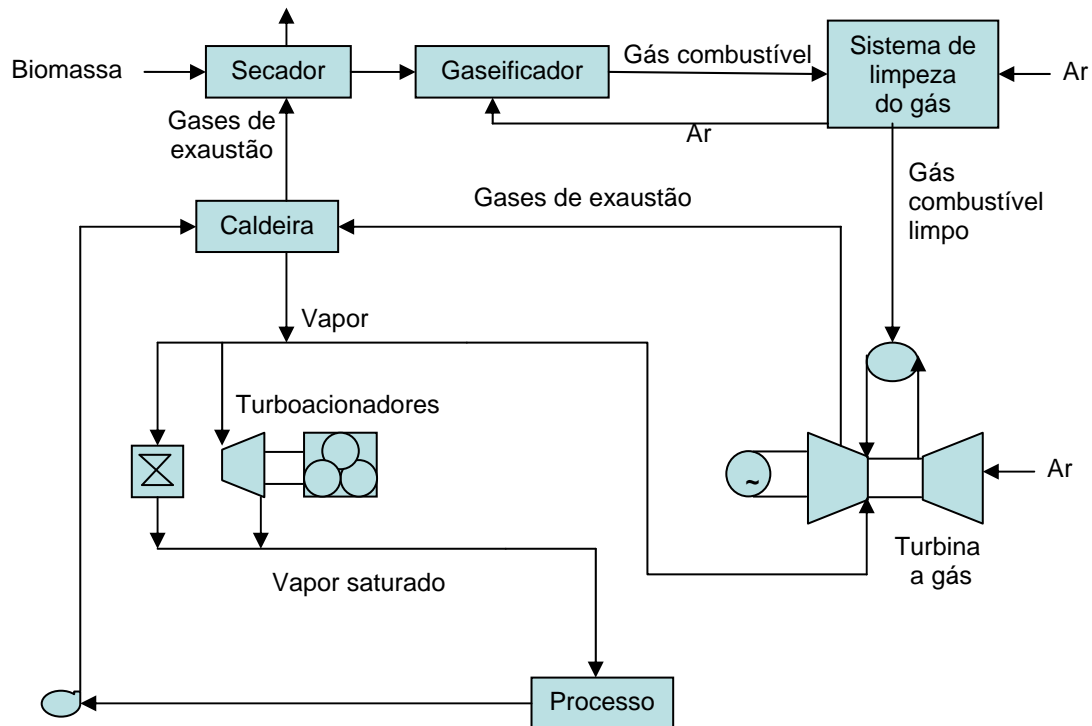


Figura 25 – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-STIG em co-geração *topping*.

Fonte: adaptado TOLMASQUIM, 2005.

Outro processo que também é um aprimoramento da configuração de ciclo simples da turbina a gás é o BIG-ISTIG que se diferencia do BIG-STIG pela introdução de um resfriador visando reduzir a temperatura do ar que está sendo comprimido para alimentar a combustão. Como benefícios desta prática são obtidos a redução da potência requerida para a compressão, elevando a potência disponível na turbina, e a elevação da temperatura de entrada dos gases da turbina, proporcionando o aumento da eficiência termodinâmica do ciclo.

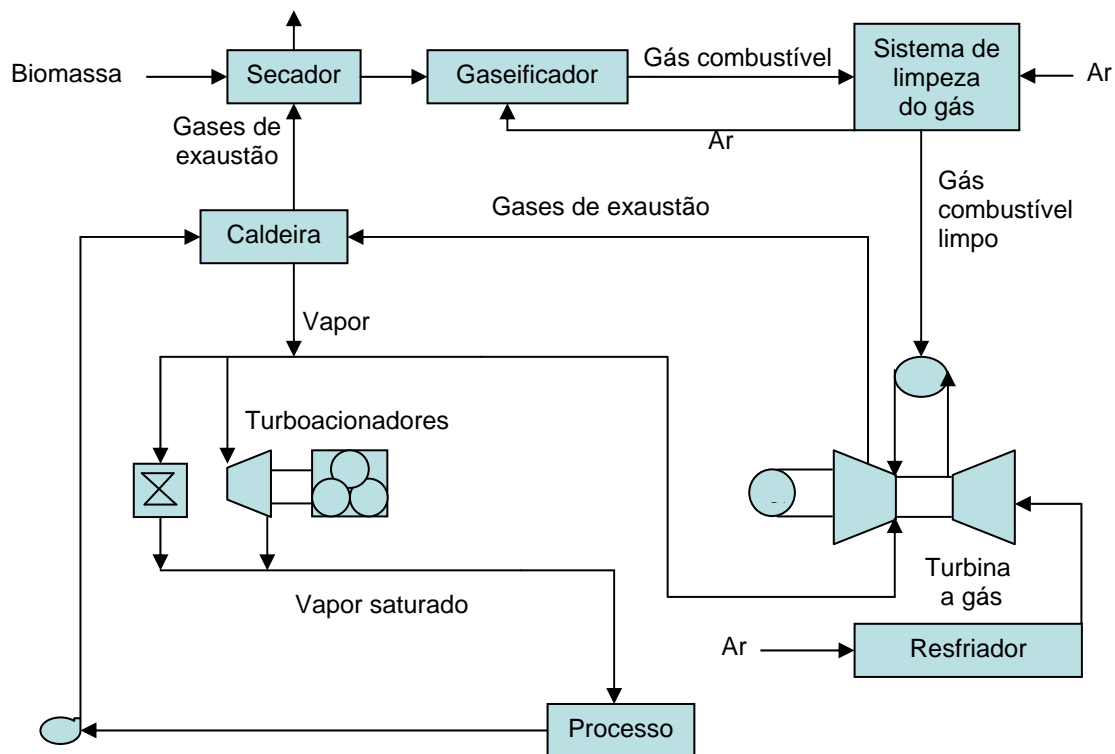


Figura 26 – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-ISTIG em co-geração *topping*.

Fonte: Elaboração própria

O último processo apresentado referente à aplicação da tecnologia de gaseificação de biomassa para geração de energia elétrica é o BIG-GTCC que consiste na combinação de turbinas a gás e turbinas a vapor, conhecido como ciclo combinado, integradas a um gaseificador de biomassa que produz o gás combustível. Nestes ciclos a energia térmica contida nos gases quentes, provenientes da exaustão da turbina a gás, são direcionados a uma caldeira de recuperação (HRSG) com o objetivo de se produzir vapor que é então utilizado como fluido de acionamento de uma turbina a vapor de condensação para gerar trabalho adicional. O acréscimo de potência alcançada em um ciclo combinado é da ordem de 50% da potência da turbina a gás e a eficiência global passa da média de 30% do ciclo simples e atinge valores em torno dos 55% a 60% em ciclos combinados comerciais.

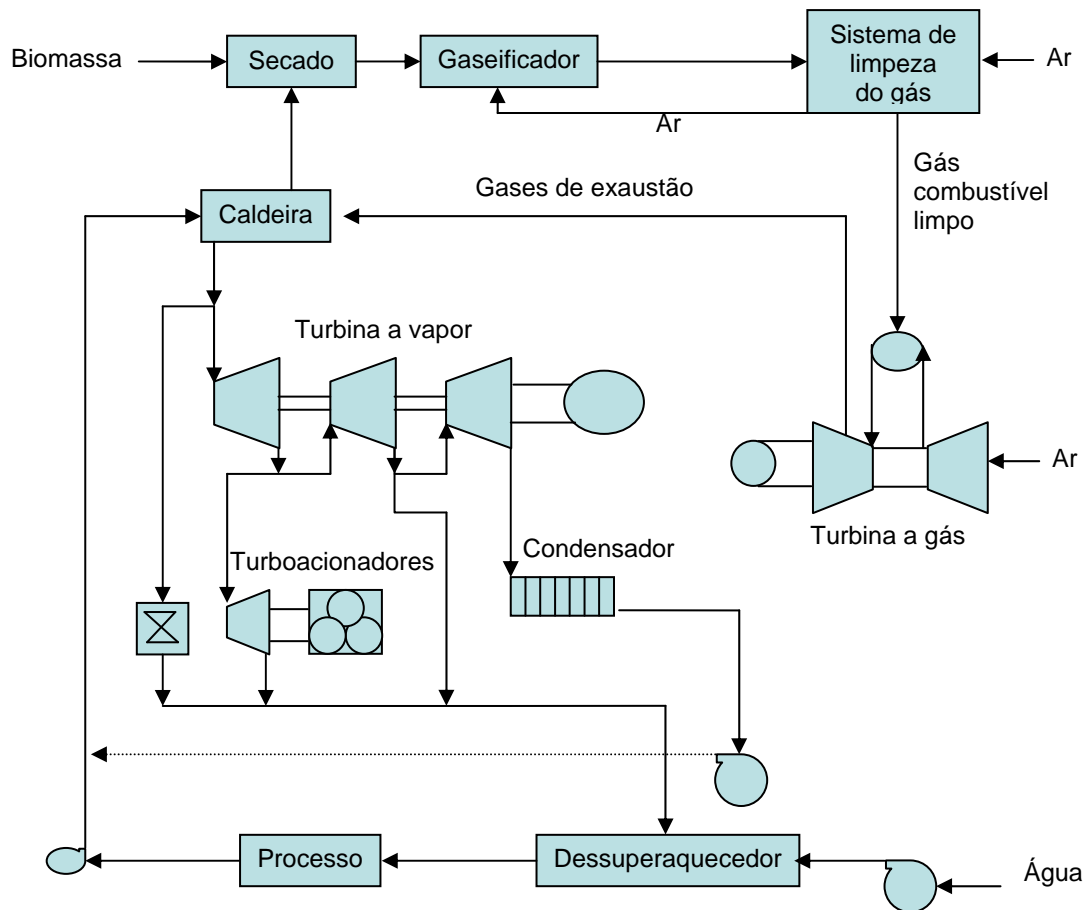


Figura 27 – Exemplo de fluxograma esquemático do ciclo BIG-GTCC em co-geração *topping*  
 Fonte: adaptado TOLMASQUIM,2005

Parâmetro	Valores
Temperatura de operação do gaseificador(°C)	850 - 950
Pressão do vapor gerado (MPa)	6
Temperatura do vapor gerado (°C)	470
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	5.000
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.050
Potencia do ciclo a vapor (%)	35
Potencia do ciclo a gás (%)	65
<b>Geração de energia elétrica</b>	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	1.050
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	1.150
<b>Eficiência da geração termelétrica</b>	
Co-geração (%)	38,0
Geração pura (%)	42,0
Escala até (MW)	150

Figura 28 – Características técnicas do ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa para a geração de energia elétrica.  
 Fonte: MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.

Tecnologia	Em co-geração (kWh/ton <sub>Biomassa</sub> ) <sup>(1)</sup>	Em geração pura (kWh/ton <sub>Biomassa</sub> ) <sup>(1)</sup>
Ciclos de baixa eficiência em operação	15	-
Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão	215	-
Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração	340	530
Ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa	1.050	1.150

<sup>(1)</sup>Referenciado a biomassa em base seca.

Figura 29 - Geração específica de energia elétrica das tecnologias a partir da biomassa excedente exportável segundo o modo de operação.

Fonte: MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.

Os impactos socioambientais originados a partir da construção e operação de usinas termoelétricas a biomassa podem ser verificados na Tabela C.1 apresentada no APÊNDICE C.

### 5.3 - Outras tecnologias

Além das rotas tecnológicas dos ciclos a vapor e de gaseificação de biomassas existem outras tecnologias utilizadas para uma geração em pequena escala que também se utilizam da biomassa como insumo para a geração de energia elétrica, são elas: motores *stirling*, microturbinas e células a combustível.

O motor *stirling* foi concebido a partir da necessidade de se simplificar o motor a vapor. O funcionamento do motor a vapor é baseado na produção de vapor numa caldeira, seguida da expansão do mesmo num motor e condensação do vapor residual, sendo o condensado bombeado para caldeira fechando o ciclo. O motor *stirling* realiza estes mesmos processos de aquecimento e resfriamento, porém dentro do próprio motor e, como utiliza ar ao invés de vapor de água, não necessita estar conectado a uma caldeira. O princípio de funcionamento de um motor *stirling* é baseado em um ciclo fechado, em que o gás de trabalho é mantido dentro dos cilindros e o calor é adicionado e removido do espaço de trabalho através de trocadores de calor (CORTEZ, 2008).

As aplicações de motores *stirling* para geração de eletricidade através da biomassa são de pequeno porte, com capacidade de geração de 30kW a 150kW, e deve-se atentar para alguns aspectos técnicos importantes tais como a maximização da superfície de contato do trocador de calor, a taxa de recirculação dos gases quentes da exaustão, cuidados no processo de alimentação de biomassa e, no caso

do uso de biomassas sólidas, atentar para o material particulado e a fuligem gerada. Todos estes aspectos visam garantir um rendimento aceitável para este processo.

Microturbinas são equipamentos baseados no mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás convencionais e podem ser acopladas a um gerador de corrente contínua ou de corrente alternada de alta frequência, pois possuem alta velocidade de rotação (33.000 a 120.000 rpm). Estes equipamentos são encontrados comercialmente nas faixas de 30kW até 250kW, possuem ótima modularidade (fácil conexão) e sua eficiência global pode atingir valores de 33% com a utilização de um recuperador que aproveita o calor dos gases de exaustão para aquecer o ar da combustão.

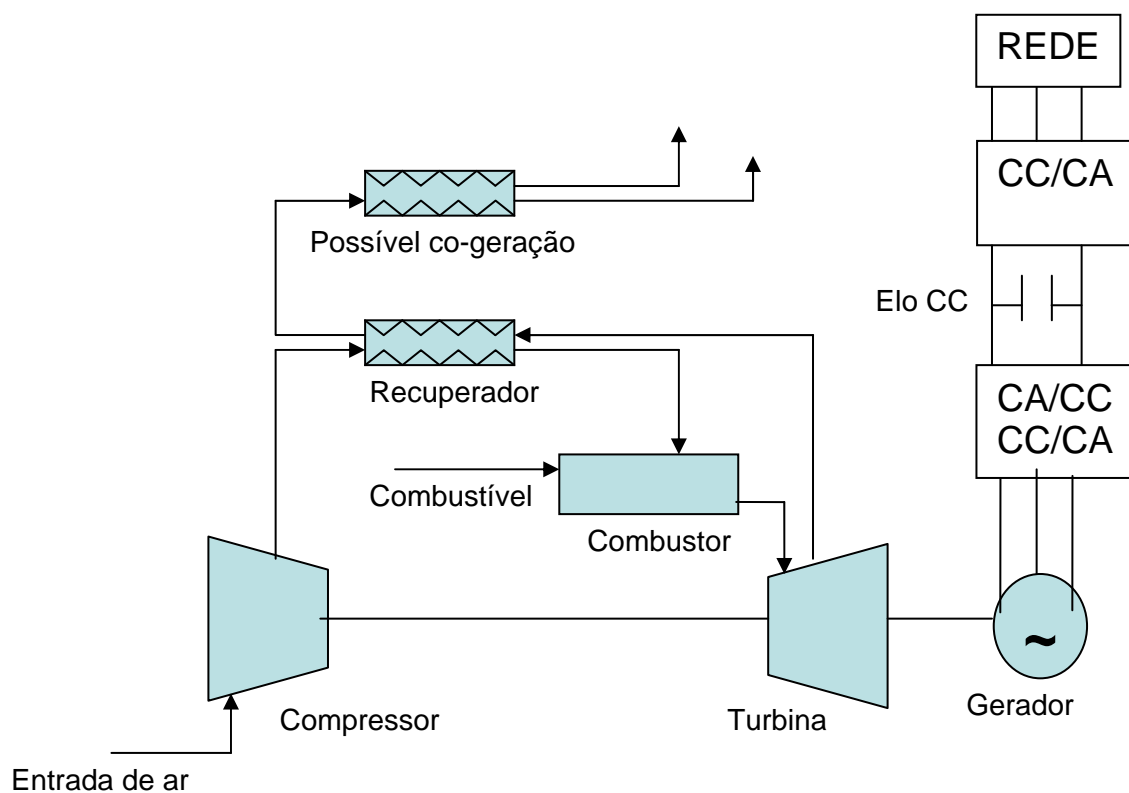


Figura 30 – Esquema de uma microturbina

Fonte: adaptado CORTEZ, 2008.

Diferentemente dos motores *stirling*, que não requerem uma boa qualidade dos combustíveis (queima direta da biomassa ou uso do gás proveniente da gaseificação sem qualquer tipo de limpeza), para o caso das microturbinas o gás combustível resultante da gaseificação da biomassa deve passar por um processo de limpeza e resfriamento, a fim de se eliminar determinadas impurezas que possam prejudicar a combustão dentro da câmara de combustão da microturbina.

Com relação às células combustíveis, estas são definidas como equipamentos eletroquímicos que convertem a energia química de uma reação diretamente em energia elétrica. Nestes sistemas um anodo alimentado por um combustível, normalmente hidrogênio, transfere íons positivos a um catodo alimentado por um oxidante, geralmente oxigênio, que por sua vez transfere íons negativos ao anodo através de um eletrólito. Diferentemente de uma bateria comum, não há reserva de energia em uma célula combustível, devendo haver um fluxo constante de combustível e oxidante no anodo e no catodo, respectivamente.

Além do hidrogênio e oxigênio, outros compostos podem ser utilizados como combustível e oxidante na composição de células de combustível. Como exemplo, pode-se citar o metano ( $\text{CH}_4$ ) que pode ser utilizado como combustível se enquadrado em temperaturas adequadas e com a escolha correta de compostos para comporem o anodo. Este tipo de característica possibilita a integração de processos de gaseificação da biomassa à tecnologia de produção de energia elétrica por intermédio das células combustíveis. Resumidamente, sistemas híbridos que integram células de combustível de alta temperatura com ciclos combinados de turbina a gás surgem como a melhor alternativa para geração de energia elétrica no longo prazo, contudo devem ser observados os altos custos ainda relacionados a esta configuração e os riscos inerentes ao processo (CORTEZ, 2008).



## 6 – Caso especial: o uso da biomassa para geração de energia elétrica em pequena escala

Além da utilização da biomassa para a geração de energia elétrica em grande escala também existe a possibilidade do aproveitamento deste insumo na geração em pequena escala. Geralmente esta prática é adotada nos casos de vilarejos e comunidades totalmente afastadas que não possuam interligação ao SIN, ou a rede elétrica convencional. Nestes lugares, qualquer opção aplicada para a geração de energia elétrica é de difícil implantação e manutenção. Os custos das concessionárias para operar e manter tais sistemas são muito mais elevados do que aqueles habitualmente existentes, já que as soluções implementadas, normalmente, nestes casos são a instalação de grupos geradores a diesel ou a extensão da rede elétrica existente.

A utilização da biomassa surge como uma alternativa viável para atender a demanda de energia elétrica de tais comunidades já que estas geralmente já possuem a prática de utilização da biomassa para atender suas necessidades mais elementares, como é o caso da alimentação através do uso de fogões a lenha.

A biomassa usada pode ser a existente *in natura* nas redondezas da região ou até mesmo a criação de mecanismos para plantio sustentável de espécies adequadas para esse fim. A biomassa gerada pode ser transformada em energia elétrica ou mecânica que podem atender as necessidades destas comunidades, proporcionando seu desenvolvimento sócio-econômico de forma sustentável.

Atualmente as tecnologias mais utilizadas e estudadas na conversão da biomassa em outros tipos de energia em pequena escala são a combustão direta e a gaseificação. A combustão direta da biomassa é realizada através de máquinas alternativas de combustão externa, conhecidas como máquinas tipo *stirling*, contudo o maior empecilho para este tipo de aplicação é a sua baixa eficiência (da ordem de 5 a 10%) tornando-a pouco competitiva. Já a aplicação de gaseificadores para geração descentralizada de energia em pequena escala é feita com motores diesel modificados. Esta configuração pode alcançar um rendimento final (térmico-elétrico) próximo a 30%, porém deve-se atentar para os cuidados específicos que devem ser tomados em função da biomassa que alimenta o sistema.

Para fins ilustrativos seguem abaixo alguns dados referentes aos gaseificadores comerciais fabricados atualmente:

- Eficiência de conversão de biomassa sólida para gás de até 85% (considerando madeira) e de até 65% para casca de arroz;

- Cada quilo de biomassa sólida produz de 2,5 a 3,0 metros cúbicos de gás com poder calorífico entre 1000 e 1100 Kcal/m<sup>3</sup>;
- Um litro de diesel pode ser evitado (em gaseificadores que operam no ciclo combinado) com apenas 3-4 quilos de biomassa de madeira ou 5-6 quilos de casca de arroz;
- Reposição de até 70% do uso de diesel em gaseificadores de ciclo combinado, para uma mistura de um quilo de biomassa de madeira (ou 1,4 quilos de casca de arroz) e 90 cilindradas cúbicas de diesel para cada kWh de energia elétrica gerada;
- Em gaseificadores operados 100% a gás, têm-se um consumo de 1,5 quilos de biomassa por kWh de energia elétrica;
- Queima extremamente limpa em razão do alto teor de hidrogênio no gás produzido.

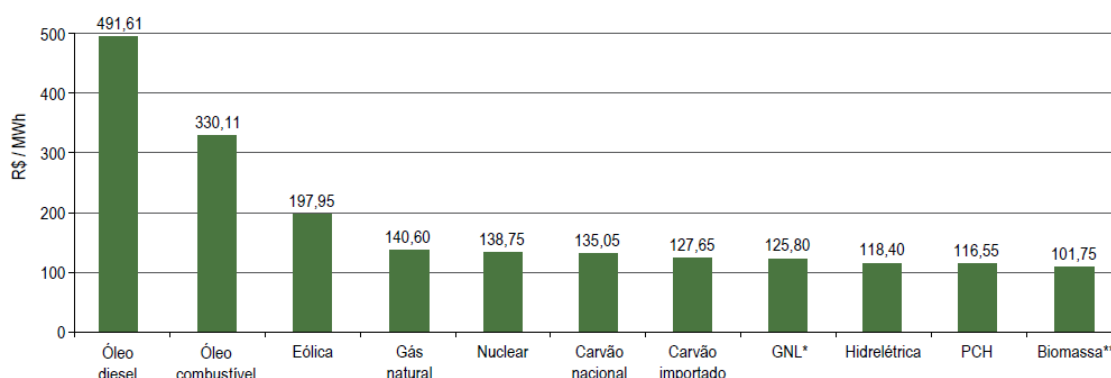
Para uso em comunidades remotas a tecnologia de gaseificação da biomassa se mostra competitiva em comparação com pequenos grupos geradores diesel já que estes possuem baixo fator de carga e altos custos de transporte.

As tecnologias apresentadas para a geração de energia elétrica em pequena escala através da biomassa também podem ser utilizadas em residências interligadas ao SIN visando a redução da tarifa de energia elétrica paga pelo consumidor. Contudo, esta aplicação, ao contrário do uso em comunidades remotas, não se mostra competitiva com a aquisição da energia elétrica através da rede convencional.

## 7 – Análises e diagnósticos

Este trabalho se propôs a descrever as características das biomassas mais importantes encontradas no Brasil e fazer explanação a respeito das tecnologias utilizadas e pesquisadas atualmente para conversão destas em energia elétrica. Não foram realizadas análises econômicas de custo dos insumos, custo dos transportes, custos da implantação das plantas geradoras termoelétricas entre outros, pois tais análises necessitam de um estudo mais aprofundado e, muitas vezes, cada caso deve ser verificado individualmente.

Contudo, visando uma breve avaliação da competitividade do aproveitamento da biomassa frente a outras fontes, foi tomado como parâmetro de referência o custo da produção do mega-Watt-hora de diversas fontes encontradas no Brasil, como se pode verificar na Figura 31. Nela é tomada como referência a utilização do bagaço de cana-de-açúcar para a biomassa.



(\*) Gás natural liquefeito

(\*\*) Bagaço de cana

Figura 31 - Custos de produção de energia elétrica no Brasil.

Fonte: ANEEL, 2008. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição.

Os dados apresentados mostram os custos médios para a produção de energia elétrica no Brasil e, comparando-se os custos das fontes como gás natural (R\$140,60/MWh), nuclear (R\$138,75/MWh) e hidroelétrica (R\$118,40/MWh) com a biomassa (R\$101,75/MWh), verifica-se que a mesma já possui um custo médio competitivo em relação a outras fontes e, sendo assim, os investimentos em pesquisa e no desenvolvimento das tecnologias são justificados.

O Brasil apresenta condições extraordinárias para a exploração da biomassa como recurso energético devido às condições naturais e geográficas favoráveis, a

grande quantidade de terras agricultáveis e às condições adequadas de clima e solo. Por este motivo o país é apontado como o que reúne a maior quantidade de vantagens comparativas para liderar a agricultura de energia. A disponibilidade desta biomassa está essencialmente vinculada a sistemas integrados de produção agrícola, agroindustrial e silvicultural.

Tabela 20 – Vantagens e desvantagens do uso da biomassa para geração de energia elétrica

Vantagens	Desvantagens
Recurso renovável	Menor poder calorífico
Emissões não contribuem para o efeito estufa	Maior possibilidade de geração de material particulado
Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras e fornos)	Dificuldade no estoque e armazenamento
Impactos ambientais reduzidos	Adequada localização da fonte

Fonte: elaboração própria.

No setor de florestas plantadas a perspectiva de expansão da produção de produtos com alto valor agregado, tais como madeira serrada, móveis, celulose e papel, faz com que se aumente também a quantidade de plantios dedicados para este fim. Devido a este aumento de demanda também será necessário um melhor aproveitamento dos resíduos gerados na extração, beneficiamento e processamento da madeira, objetivando um correto aproveitamento energético destes resíduos, otimizando todo o processo produtivo.

O setor sucroalcooleiro, por meio do uso do bagaço de cana, é o que apresenta maior desenvolvimento em relação ao aproveitamento economicamente viável da biomassa residual gerada na produção de energia elétrica. Tal cultura deve servir como referência para as culturas de soja, milho, arroz e muitas outras que podem se desenvolver ainda mais utilizando as rotas tecnológicas de recuperação e transporte da biomassa residual aplicadas no cultivo de cana-de-açúcar. É recomendável que se estude a aplicabilidade das técnicas utilizadas no setor sucroalcooleiro nos outros cultivos de forma específica, pois cada um possui suas próprias características.

O uso dos resíduos agrícolas na geração de energia elétrica está diretamente ligado aos sistemas de logística utilizados. Tais sistemas devem integrar as operações de colheita, transporte e armazenagem dos resíduos, inclusive com manutenção de um estoque temporário, de forma a disponibilizar a biomassa em suas condições adequadas continuamente na instalação termoeletrica de geração de energia.

Com relação ao uso de rejeitos urbanos e industriais, sólidos e líquidos, a estratégia mais utilizada atualmente se refere ao uso do biogás gerado através da biodigestão anaeróbica dentro de biodigestores. Esta aplicação permite uma grande redução dos danos e impactos ambientais provocados por esta poluição. O biogás gerado é utilizado em plantas geradoras termoelétricas para consumo em processos internos e até mesmo comercialização da energia excedente. O ciclo é fechado com a utilização dos resíduos oriundos dos biodigestores como fertilizante em vários tipos de cultivo.

Sabe-se que todos os aproveitamentos apresentados foram desenvolvidos ou estão sendo estudados de forma a minimizar os danos ambientais que tais tecnologias podem gerar. Entretanto, apesar dos benefícios descritos, os riscos de danos à saúde e ao meio ambiente nunca podem ser reduzidos a zero, seja para qualquer opção energética.

Em relação aos impactos sociais, os aproveitamentos expostos para utilização da biomassa como fonte de energia elétrica apresentam aspectos importantes, pois a partir da geração de empregos diretos e indiretos provenientes da produção tem-se um aumento da qualidade de vida e dos níveis de consumo, inclusão social, geração de novas atividades econômicas assim como o fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural.

Tabela 21 – Categorias de impactos

Ambientais	Não-ambientais
Saúde humana	Uso dos recursos
Ecotoxicidade (impacto de substâncias nocivas sobre a flora e a fauna)	Geração de empregos
Acidificação	Segurança e confiabilidade no fornecimento
Eutroficação	Efeitos sobre o PIB
Qualidade do solo	Desenvolvimento rural
Mudança climática	
Amenidades (barulho, odores e impactos visuais)	
Biodiversidade	

Fonte: Rosillo-Calle et al., 2005.

Tabela 22 – Impactos ambientais referentes ao uso da biomassa como insumo para a geração de energia elétrica.

Impacto	Ação mitigadora
Alto potencial de emissão de gases	Desenvolvimento de tecnologias de produção e técnicas adequadas de manejo da matéria-prima
Desmatamento	Implantação de florestas energéticas, correto manejo do solo
Formação de monoculturas	Implantação de técnicas e processos que aumentem a produtividade da biomassa, reduzindo a área plantada
Processos erosivos e assoreamento dos corpos d'água superficiais	Boas práticas de manejo do solo
Alteração no uso e ocupação do solo	Utilizar áreas já antropizadas ou degradadas
Alteração da qualidade do solo e dos recursos hídricos pelo uso de fertilizantes e defensivos agrícolas	Implantação do Manejo Integrado de Pragas e Doenças (MIPD)
Alteração da biodiversidade	Utilizar áreas já antropizadas
Aumento da pressão sobre a infraestrutura viária	Dar preferência a realização de operações de carga e descarga em horários que não sejam de pico
Aumento da pressão sobre a infraestrutura urbana dos municípios sob influência da cultura	Elaboração e implementação do Plano Diretor dos municípios afetados.

Fonte: elaboração própria

A Tabela 23 apresenta um resumo das equivalências energéticas apresentadas no capítulo 3 para cada uma das biomassas analisadas. Os cálculos apresentados foram elaborados a partir do poder calorífico e da quantidade de resíduos de cada biomassa citada.

Tabela 23 – Tabela comparativa de rendimento das biomassas analisadas.

Biomassa	Poder Calorífico		Produção de resíduos		Energia (Kcal)	Tonelada Equivalente de Petróleo (tep) <sup>8</sup>	Energia Elétrica (TWh)
	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade			
Lenha	3100	Kcal/Kg	1235	10 <sup>3</sup> t	3,83E+12	382850	4,453
Licor Negro	2860	Kcal/Kg	4796	10 <sup>3</sup> t	1,37E+13	1371656	15,952
Eucalipto <sup>1</sup>	4024	Kcal/Kg	36229,38	10 <sup>3</sup> t	1,46E+14	14578702,51	169,550
Pinus <sup>1</sup>	4174	Kcal/Kg	11361	10 <sup>3</sup> t	4,74E+13	4742081,4	55,150
Bagaço de Cana	2130	Kcal/Kg	12752	10 <sup>3</sup> t	2,72E+13	2716176	31,589
Casca de arroz <sup>2</sup>	3200	Kcal/Kg	1736	10 <sup>3</sup> t	5,56E+12	555520	6,461
Palha de arroz <sup>3</sup>	3821	Kcal/Kg	4279	10 <sup>3</sup> t	1,64E+13	1635006	19,015
Capim-elefante <sup>4</sup>	3441	Kcal/Kg	202,5	10 <sup>3</sup> t	6,97E+11	69680	0,810
Palhada de milho <sup>5</sup>	4227	Kcal/Kg	48944	10 <sup>3</sup> t	2,07E+14	20688629	240,609
Palha de soja <sup>5</sup>	3487	Kcal/Kg	68700	10 <sup>3</sup> t	2,40E+14	23955690	278,605
Biogás (resíduos sólidos urbanos) <sup>6</sup>	5000	Kcal/m <sup>3</sup>	3715500	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	1,86E+13	1857750	21,606
Biogás (resíduos líquidos urbanos) <sup>6</sup>	5000	Kcal/m <sup>3</sup>	1920	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	9,60E+09	960	0,011
Biogás (resíduos industriais) <sup>7</sup>	5000	Kcal/m <sup>3</sup>	1460	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	7,30E+09	730	0,008

Notas: 1KWh = 860Kcal (1º princípio da termodinâmica) - BEN, 2011.

<sup>1</sup> Considerando perdas totais em torno de 50%

<sup>2</sup> Considerando a casca como 22% do peso total do grão e 30% de perdas

<sup>3</sup> Considerando 0,38 toneladas de palha para cada tonelada de arroz colhido

<sup>4</sup> Estimando uma área plantada de 4500ha

<sup>5</sup> Considerando 15% de umidade

<sup>6</sup> Considerando 40% de fator de aproveitamento

<sup>7</sup> Simulação a partir de quantidade de 10.000 cabeças de dados de corte

<sup>8</sup> Petróleo de referência: 10000 Kcal/Kg

Fonte: elaboração própria.

Tabela 24 – Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultural – Brasil ( $10^6$ tBbs/ano)<sup>(1)</sup>

	2005	2010	2015	2020	2030
<b>Total</b>	570	761	930	1103	1449
<b>Resíduos agrícolas</b>	478	634	768	905	1196
Soja	185	251	302	359	482
Milho	176	251	304	361	485
Arroz (palha)	57	59	62	66	69
Cana-de-açúcar (palha)	60	73	100	119	160
<b>Resíduos agroindustriais</b>	79	97	131	155	207
Cana-de-açúcar (bagaço)	58	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	2	3	3	3
Lixívia <sup>(2)</sup>	13	17	21	25	34
Madeira <sup>(3)</sup>	6	8	10	12	16
<b>Florestas energéticas</b>	13	30	31	43	46
Madeira excedente <sup>(4)</sup>	13	30	31	43	46

<sup>(1)</sup>tBbs indica a massa, em toneladas, de biomassa em base seca.

<sup>(2)</sup>Licor negro com concentração entre 75 e 80% de sólidos secos.

<sup>(3)</sup>Resíduos de madeira da indústria de celulose: lenha, resíduos de madeira e casca de árvore

<sup>(4)</sup>Representa a diferença entre a quantificação teórica da produção potencial nas áreas ocupadas pela silvicultura e o consumo de madeira em tora para uso industrial oriundo de florestas plantadas.

Fonte: adaptado MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.



## 8 - Conclusões

Este trabalho reúne informações a respeito do aproveitamento da biomassa para a geração de energia elétrica no Brasil de uma forma organizada e didática. Os dados foram apresentados ao leitor através de uma estrutura lógica, passando pela motivação do estudo, caracterização das principais biomassas para esse uso, tecnologias de conversão e as práticas, em grande escala e pequena escala, de geração de energia elétrica propriamente dita a partir deste insumo, de maneira a servir como fonte de estudos e motivação para aprofundamentos no tema e novas pesquisas.

Em decorrência da falta de informações consolidadas a respeito do assunto, são destacados os seguintes temas como sugestão para estudos futuros: levantamento quantitativo e qualitativo das várias fontes de biomassa existentes no Brasil que podem ser utilizadas para a produção de energia elétrica, competição do uso da biomassa para a geração de eletricidade com outros usos e uma análise econômica de cada tipo de biomassa tendo em vista suas possíveis rotas de conversão.

São inegáveis os benefícios ambientais da exploração da biomassa como insumo energético, porém, atrelado a este fato, deve ser verificado um modelo competitivo deste aproveitamento junto ao setor elétrico. Outra grande vantagem do uso da biomassa para este fim é que torna o setor elétrico mais robusto em termos das mudanças internacionais do setor de petróleo e das variações cambiais.

Cada tipo de biomassa possui características próprias como tamanho, forma e densidade, e a partir destes dados, é que serão determinadas as opções tecnológicas a serem utilizadas em seu aproveitamento energético. Neste trabalho foi dado foco às tecnologias comercialmente aplicáveis atualmente e às rotas tecnológicas que estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, mas que apresentam boas perspectivas para o futuro.

Deve ser avaliada para cada cenário qual a tecnologia que deve ser aplicada para a geração de energia elétrica de forma que a produção desta energia seja competitiva comercialmente e/ou melhore a eficiência do processo produtivo.

Apesar de ter sido a biomassa a primeira fonte energética utilizada pela humanidade e ainda hoje seja usada como importante vetor energético, a sua aplicação para a produção de eletricidade ainda é pouco significativa no cenário mundial. Entretanto, no Brasil, devido às diversas condições favoráveis ao uso da

biomassa, esta fonte é responsável por 7,18% da matriz de energia elétrica, com um grande potencial de desenvolvimento.

Atualmente a tecnologia de combustão direta do bagaço de cana-de-açúcar é a rota mais consolidada em termos de utilização de biomassa para geração de energia elétrica, tanto para atender o consumo interno de indústrias específicas quanto para a comercialização do montante produzido. Tal configuração deve servir de exemplo para outras biomassas existentes em abundância, mas que ainda apresentam um baixo aproveitamento de seus respectivos resíduos. Outro ponto que deve ser aprimorado na questão do aproveitamento das biomassas agrícolas é a melhora nos processos de colheita, fazendo com que se torne viável a reunião dos resíduos gerados neste processo e seu conseqüente reaproveitamento.

No curto prazo, o uso da biomassa como fonte de energia elétrica pode ser desenvolvido em aplicações específicas que possuam como características o fornecimento contínuo de biomassa através de uma destinação adequada para os rejeitos produzidos pela empresa. Para cada projeto específico deve ser executada uma análise criteriosa visando obter a viabilidade técnica e econômica para este tipo de empreendimento. Tal análise deve levar em consideração fatores como o custo do insumo, custos da produção, custos da biomassa, custos referentes ao transporte e o investimento na implantação de uma unidade geradora termoelétrica adequada. Estes fatores devem ser comparados com o retorno dos investimentos realizados em termos de economia de energia elétrica, produção de energia térmica e outras despesas que possam ser minimizadas a partir deste aproveitamento.

As pequenas e grandes agroindústrias necessitam de eletricidade e energia térmica (vapor) para seus processos e, com a aplicação de sistemas de co-geração que utilizem os resíduos gerados na própria agroindústria, uma grande parte da demanda por eletricidade pode ser suprida e, em alguns casos, ocasionar excedente de energia elétrica que pode ser comercializado e trazer dividendos à empresa.

O aproveitamento dos rejeitos urbanos e industriais, sólidos e líquidos, também possui uma boa perspectiva de aplicação na geração de biogás também no curto prazo. Os aterros sanitários existentes podem ser transformados em aterros energéticos, produzindo biogás que será utilizado na produção de eletricidade e fazendo com que parte do lixo / lodo seja reciclada, reduzindo muito os impactos ambientais causados por tais aterros. De maneira similar o biogás também pode ser gerado a partir dos rejeitos industriais, executando-se uma análise econômica detalhada. Em ambos os casos, o ciclo de produção biomassa – biogás – eletricidade é fechado com a utilização dos resíduos resultantes da produção de biogás como fertilizantes.

Devido aos altos índices de rendimento e eficiência energética os projetos baseados na co-geração em ciclos combinados apresentam melhores perspectivas de desenvolvimento no médio e longo prazo através da utilização da rota tecnológica que emprega a gaseificação da biomassa em conjunto com o uso de turbinas a gás. Contudo esta configuração ainda necessita de desenvolvimento de forma a viabilizar comercialmente a sua efetivação.

Em síntese, a produção de eletricidade a partir da biomassa precisa ser sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico. Sendo essencial que os benefícios ambientais fiquem garantidos em todas as etapas de produção da biomassa / eletricidade, pois a questão ambiental é a principal justificativa para o uso desta tecnologia. Além deste fato existem diversas tecnologias promissoras que devem ser desenvolvidas a ponto de se tornarem competitivas comercialmente com as já existentes.

## 9 – Referências bibliográficas

- ABRAF, 2011, **Anuário Estatístico da ABRAF 2011 – Ano base 2010**. Brasília, ABRAF.
- ABRELPE, 2009, **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2008**. São Paulo, ABRELPE.
- ANDRADE, José Mário Ferreira, DINIZ, Kátia Maria, 2007, Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão. Monografia, ESALQ/USP, São Paulo, SP, Brasil.
- ANEEL, 2008, **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, ANEEL.
- ANEEL, 2012, *Banco de Informações de Geração*. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 19/01/2012.
- BLEY JR., Cícero, 2007, **Agroenergia da biomassa residual. Perspectivas econômicas, sociais, ambientais e energéticas**. Curitiba, Itaipu Binacional.
- BRACELPA, 2010, **Relatório Anual 2009/2010**. BRACELPA.
- BRIDGWATER, A. V.; BRIDGE, S. A., 1991, *A Review of Biomass Pyrolysis and Pyrolysis Technologies*. In: Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilization, Elsevier Applied Science, Londres.
- CORTEZ, Luís Augusto Barbosa, LORA, Electo Eduardo Silva, GÓMEZ, Edgardo Olivares, 2008, **Biomassa para Energia**. 1 ed. Campinas, Editora da Unicamp.
- CARREIRO, Milton Roberto de Mattos, 2009, *Análise energética e ambiental do processamento do licor negro gerado em fábricas de celulose e papel*. Tese de M.Sc., UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil.
- CASTANÓN, N. B. J., 2002, *Biogás originado a partir dos rejeitos rurais*. Material do curso: Biomassa como Fonte de Energia, USP, São Paulo, SP.

- CENBIO, 2012. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/index.asp>> - Acesso em 24/01/2012.
  
- EPE, 2011, **Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010 – BEN 2011**. Rio de Janeiro, EPE.
  
- GENOVESE, Alex Leão, UDAETA, Miguel Edgar Morales and GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 25 jan. 2012.
  
- GIANETTI, Bruce Wilson, 2007, *Processo de hidrólise ácida contínua e controlada de substâncias celulósicas*, São Paulo, SP. Disponível em:<<http://www.patentesonline.com.br/processo-de-hidrolise-acida-continua-e-controlada-de-substancias-celulosicas-192054.html>>. Acesso em: 26/01/2012.
  
- [http://infoenes/biomassa/texto/br\\_lenha.asp](http://infoenes/biomassa/texto/br_lenha.asp) - Acesso em 17/01/201
  
- [http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br\\_carvao.asp](http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp) - Acesso em 17/01/2012.
  
- <http://inovabrasil.blogspot.com/2010/07/tranformando-lixo-em-energia.html> - Acesso em 25/01/2012.
  
- <http://www.biodieselbr.com/> - Acesso em 25/01/2012.
  
- <http://www.capimelefante.org/home> - Acesso em 24/01/2012.
  
- <http://www.cdcc.usp.br/quimica/conceito/conceito.html> - Acesso em 23/01/2012.
  
- <http://www.patentesonline.com.br/processo-de-hidrolise-acida-continua-e-controlada-de-substancias-celulosicas-192054.html> - Acesso em 25/01/2012.
  
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br> – Acesso em 06/02/2012.
  
- *International Energy Agency (IEA)*, 2012. Disponível em: <[www.iea.org](http://www.iea.org)> - Acesso em: 24/01/2012.

- JÚNIOR, Cícero Bley, Libânio, José Carlos, GALINKIN, Maurício, *et al.*, 2009, ***Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais***. 2 ed. Foz do Iguaçu/Brasília, Technopolitik.
  
- KONZEN, E. A., 1980, *Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida*. Tese de M.Sc., UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.
  
- MACHHI, E., 1991, ***Power Generation Including Cogeneration***, Milão, Itália, Energetic Department – Politecnico di Milano.
  
- MAPA, 2011, ***Anuário Estatístico da Agroenergia 2010***. 2 ed. Brasília, MAPA.
  
- MAPA – Secretaria de Produção e Agroenergia, 2006, ***Plano Nacional de Agroenergia 2006 – 2011***. 2 ed. Brasília, Embrapa Informação tecnológica.
  
- MME:EPE, 2007, ***Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030***. Brasília, MME:EPE.
  
- MME:EPE, 2011, ***Anuário estatístico de energia elétrica 2011***. Rio de Janeiro.
  
- MORA, A. L., GARCIA, C. H., 2000, ***A Cultura do Eucalipto no Brasil***. São Paulo, SBS.
  
- MUNIZ, Rafael Ninno. *Educação e biomassa*. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2002 Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000100053&Ing=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100053&Ing=en&nrm=abn)>. Acesso em: 26 jan. 2012.
  
- PEREZ, Juan Miguel Mesa, MESA, Henry Ramón Marín, ROCHA, José Dilcio et al. *Pirólise rápida de biomassa em reator de leito fluidizado Unicamp-Brasil: problemas, causas e soluções*. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2006, Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022006000200026&Ing=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200026&Ing=en&nrm=abn)>. Acesso em: 25 jan. 2012.
  
- PUNA, Jaime Filipe Borges; BAPTISTA, Bráulio dos Santos. *A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos - perspectiva ambiental e econômico-energética*. Quím.

Nova, 2008. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422008000300032&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000300032&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 26 jan. 2012.

ROSILLO-CALLE, F. e BEZZON, G, 2005, ***Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira***. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP.

- SILVA, L. L., ALVES, M. S., SIVA, V. C., ROCHA A. L., 2009, "Princípios de Termoelétricas em Pequenas Propriedades Rurais". *International Workshop Advances in Cleaner Production*, São Paulo, Brasil, 20-22 May.

- STEINFELD, H. *et al.* 2006, *Livestock's role in climate change and pollution*. In: *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. FAO, Rome

- TOLMASQUIM, Maurício Tiomno, 2005, ***Geração de Energia Elétrica no Brasil***. 1 ed. Rio de Janeiro, Interciência.

- VELÁZQUEZ, S. G., 2000, *A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil*. Tese de M.Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil.

## APÊNDICE A / Fatores de conversão de energia

A Tabela A.1 apresenta os fatores de conversão das unidades de energia aplicados nos cálculos da Tabela 22.

Tabela A.1 – Fatores de conversão para Energia.

de	J	BTU	cal	kWh	to
Joule (J)	1	$947,8 \times 10^{-6}$	0,23884	$277,7 \times 10^{-9}$	Joule (J)
British Thermal Unit (BTU)	$1,055 \times 10^3$	1	252	$293,07 \times 10^{-6}$	British Thermal Unit (BTU)
Caloria (cal)	4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	calorie (cal)
Quilowatt-hora (kWh)	$3,6 \times 10^6$	3412	$860 \times 10^3$	1	kilowatt-hour (kWh)
Tonelada equivalente de petróleo (tep)	$41,87 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	$10 \times 10^9$	$11,63 \times 10^3$	Tons of oil equivalent (toe)
Barril equivalente de petróleo (bep)	$5,95 \times 10^9$	$5,63 \times 10^6$	$1,42 \times 10^9$	$1,65 \times 10^3$	barrels of oil equivalent (boe)

Fonte: MME:EPE. BEN, 2011.



## APÊNDICE B / Usinas produtoras de eletricidade a partir do bagaço de cana

Tabela B.1 – Empreendimentos produtores de energia elétrica a partir do uso do bagaço de cana-de-açúcar.

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Alta Mogiana	60.000	100% para Usina Alta Mogiana S/A Açúcar e Álcool	São Joaquim da Barra - SP
Barralcool	23.000	100% para Usina Barralcool S/A	Barra do Bugres - MT
Batatais	3.900	100% para Usina Batatais S/A - Açúcar e Álcool	Batatais - SP
Caeté	35.800	100% para Usina Caeté S/A	São Miguel dos Campos - AL
Colombo	105.500	100% para Usina Colombo S/A Açúcar e Álcool	Ariranha - SP
Corona	18.000	100% para Usina da Barra S/A Açúcar e Álcool	Guariba - SP
Ester	46.400	100% para Usina Açucareira Ester S/A.	Cosmópolis - SP
Central Energética Ribeirão Preto (Ex. Galo Bravo)	9.000	100% para Central Energética Ribeirão Preto, Açúcar e Álcool Ltda	Ribeirão Preto - SP
Galvani	11.500	100% para Galvani Indústria Comércio e Serviços S/A	Paulínia - SP
Iracema	14.000	100% para São Martinho S/A	Iracemópolis - SP
Virgolino de Oliveira - Itapira	5.800	100% para Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Álcool	Itapira - SP
Jardest	8.000	100% para Jardest S/A Álcool e Açúcar	Jardinópolis - SP
Junqueira	7.200	100% para Fundação de Assistência Social Sinhá Junqueira	Igarapava - SP
Maracaí	46.820	100% para Cosan Alimentos S.A.	Maracaí - SP
MB	16.400	100% para LDC-SEV Bioenergia S.A	Morro Agudo - SP

Nardini	29.000	100% para Nardini Agroindustrial Ltda	Vista Alegre do Alto - SP
Santa Cruz AB (Ex.Ometto)	86.400	100% para Santa Cruz S/A Açúcar e Álcool	Américo Brasiliense - SP
Usina da Pedra	35.000	100% para Central Energética Rio Pardo Ltda	Serrana - SP
Rafard	50.000	100% para Cosan S/A Bioenergia	Rafard - SP
Univalem	8.000	100% para Franco Brasileira S/A Açúcar e Álcool	Valparaíso - SP
Pumaty	8.040	100% para Usina Pumaty S/A Industria de Açúcar e Álcool	Joaquim Nabuco - PE
Vale do Rosário	93.000	100% para LDC-SEV Bioenergia S.A	Morro Agudo - SP
Viralcool	20.000	100% para Viralcool - Açucar e Álcool Ltda.	Pitangueiras - SP
São João	12.000	100% para U.S.J. - Açúcar e Álcool S/A	Araras - SP
São José	84.805	100% para Açucareira Zillo Lorenzetti S/A	Macatuba - SP
São José	4.800	100% para Usina São José S/A Açúcar e Álcool	Rio das Pedras - SP
São Luiz	70.400	100% para Abengoa Bioenergia Agroindústria Ltda.	Pirassununga - SP
São Martinho	19.000	100% para Usina São Martinho S/A	Pradópolis - SP
Barra Grande de Lençóis	62.900	100% para Usina Barra Grande de Lencóis S/A.	Lençóis Paulista - SP
LDC Bioenergia Leme (Ex.Coinbra - Cresciumal)	42.300	100% para LDC Bioenergia S.A	Leme - SP
LDC Bioenergia Jaboticabal (Ex. São Carlos)	6.800	100% para LDC Bioenergia S.A	Jaboticabal - SP
J. Pilon	3.800	100% para J.Pilon S/A Açúcar e Álcool	Cerquilha - SP
São Francisco	25.200	100% para Bioenergia Cogeneradora S/A	Sertãozinho - SP

Lucélia	15.700	100% para Bioenergia do Brasil S/A	Lucélia - SP
Bortolo Carolo	8.000	100% para Usina Carolo S/A - Açúcar e Álcool	Pontal - SP
Furlan	3.600	100% para Usina Açucareira Furlan S/A.	Santa Bárbara d'Oeste - SP
Santa Adélia	42.000	100% para Usina Santa Adélia S/A	Jaboticabal - SP
Ruette	28.000	100% para Antônio Ruette Agroindustrial Ltda.	Paraíso - SP
Ipiranga Filial Descalvado	3.025	100% para Usina Ipiranga Açucar e Álcool Ltda.	Descalvado - SP
Ipiranga - Mococa	4.200	100% para Usina Ipiranga Açucar e Álcool Ltda.	Mococa - SP
São Manoel	14.800	100% para Usina Açucareira São Manoel S/A	São Manuel - SP
Albertina	4.250	100% para Companhia Albertina Mercantil e Industrial	Sertãozinho - SP
Santa Elisa - Unidade II	4.000	100% para Companhia Energética Santa Elisa	Sertãozinho - SP
Paineiras	3.200	100% para Usina Paineiras S/A	Itapemirim - ES
São João da Boa Vista	70.000	100% para Abengoa Bioenergia Agroindústria Ltda.	São João da Boa Vista - SP
Unialco	3.600	100% para Unialco S/A Álcool e Açúcar	Guararapes - SP
Santa Cândida	29.000	100% para Santa Cândida Açúcar e Álcool Ltda.	Bocaina - SP
Ibitiúva Bioenergética (Ex.Destilaria Andrade)	33.000	27,1% para Andrade Açúcar e Álcool S.A. 72,9% para Ibitiúva Bioenergética S.A.	Pitangueiras - SP
Mandu	65.000	100% para Usina Mandu S/A	Guaíra - SP
Guarani - Cruz Alta	40.000	100% para Guarani S.A	Olímpia - SP
São José da Estiva	19.500	100% para Usina São José da Estiva S.A	Novo Horizonte - SP
Pantanal	5.000	100% para Usina Pantanal de Açúcar e	Jaciara - MT

		Álcool Ltda	
Jaciara	2.800	100% para Usina Jaciara S/A.	Jaciara - MT
Bazan	10.200	100% para Usina Bazan S/A.	Pontal - SP
São Domingos	12.000	100% para Usina São Domingos - Açúcar e Álcool S/A	Catanduva - SP
Moema	24.000	100% para Usina Moema Açúcar e Álcool Ltda.	Orindiúva - SP
Diana	2.873	100% para Destilaria de Álcool Nova Avanhandava Ltda.	Avanhandava - SP
Água Bonita	17.000	100% para Destilaria Água Bonita Ltda.	Tarumã - SP
Destilaria Guaricanga	1.600	100% para Destilaria Guaricanga S/A.	Presidente Alves - SP
Destilaria Malosso	4.000	100% para Irmãos Malosso Ltda.	Itápolis - SP
Coraci	1.384	100% para Usina Coraci Destilaria de Álcool Ltda.	São Pedro do Turvo - SP
Trombini	4.870	100% para Trombini Papel e Embalagens S/A.	Fraiburgo - SC
Benálcool	4.200	100% para Benálcool Açúcar e Álcool S/A	Bento de Abreu - SP
Santa Lúcia	4.400	100% para Usina Santa Lúcia S/A.	Araras - SP
Alcidia	38.100	100% para Destilaria Alcidia S/A.	Teodoro Sampaio - SP
Bellão & Schiavon	650	100% para Destilaria Bellão & Schiavon Ltda.	Santa Cruz das Palmeiras - SP
Paraíso	7.700	100% para Paraíso Bioenergia Ltda.	Brotas - SP
Bela Vista	9.800	100% para Usina Bela Vista S/A	Pontal - SP
Itaiquara	4.055	100% para Usina Itaiquara de Açúcar e Álcool S/A.	Tapiratiba - SP
Água Limpa	2.760	100% para Agroindustrial Oeste Paulista Ltda	Monte Aprazível - SP
Santa Rosa	2.760	100% para Usina Santa Rosa Ltda.	Boituva - SP
Santa Fé	6.400	100% para Usina Santa Fé S/A.	Nova Europa - SP
Lwarcel	4.000	100% para Lwarcel Celulose Ltda	Lençóis Paulista - SP
Santo Antônio	1.160	100% para Usina Santo Antônio S/A Açúcar e Álcool	Piracicaba - SP
Floraplac	1.250	100% para Floraplac Industrial Ltda.	Paragominas - PA
Delos	700	100% para Destilaria Lopes da Silva Ltda.	Sertãozinho - SP
Della Coletta	4.000	100% para Della Coletta - Usina de Açúcar e Álcool Ltda.	Bariri - SP
Barra	15.800	100% para Usina da Barra S/A Açúcar e Álcool	Barra Bonita - SP
Branco Peres	3.980	100% para Branco Peres Álcool S/A	Adamantina - SP
Pederneiras	2.400	100% para Indústria de Aguardente Pederneiras Ltda	Tietê - SP

Gasa	82.000	100% para Barra Bioenergia S.A.	Andradina - SP
Urbano Jaraguá	3.000	100% para Urbano Agroindustrial Ltda.	Jaraguá do Sul - SC
Cocal	28.200	100% para Cocal Termoelétrica S/A	Paraguaçu Paulista - SP
Dulcini	1.851,20	100% para Dulcini S/A	Santo Antônio de Posse - SP
Dacal	2.700	100% para Dacal Destilaria de Álcool Califórnia Ltda	Parapuã - SP
Guarani	9.400	100% para Guarani S.A	Severínia - SP
Uruba	10.000	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Atalaia - AL
Coocarol	4.000	100% para Cooperativa Agro Industrial de Produtores de Cana de Rondon	Rondon - PR
Cerradinho	75.000	100% para NG Bioenergia S.A	Catanduva - SP
Bom Retiro	3.600	100% para Usina Açucareira Bom Retiro S/A	Capivari - SP
Destil	3.400	100% para Usina Itajobi Ltda - Açúcar e Álcool	Marapoama - SP
Fany	1.200	100% para Destilaria Santa Fany Ltda	Regente Feijó - SP
Pioneiros	42.000	100% para Pioneiros Termoelétrica Sud Menucci S.A.	Sud Mennucci - SP
Sobar	3.864	100% para Sobar S/A - Álcool e derivados	Espírito Santo do Turvo - SP
Alcomira	2.400	100% para Alcomira S/A	Mirandópolis - SP
Londra	3.880	100% para Destilaria Londra Ltda	Itaí - SP
Decasa	33.000	100% para ENERCASA Energia Caiuá S.A.	Ibirarema - SP
Guaxuma	14.312	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Coruripe - AL
Ferrari	69.500	100% para Ferrari Termoelétrica S.A.	Pirassununga - SP
Generalco	3.800	100% para Destilaria Generalco S/A	General Salgado - SP
Usina São Luiz	16.000	100% para Usina São Luiz S/A	Ourinhos - SP
Panorâmica	3.700	100% para Indústria e Comércio Iracema Ltda	Itaí - SP
Casa de Força	3.920	100% para Alcoeste Destilaria Fernandópolis S/A	Fernandópolis - SP
Nova Tamoio	3.600	100% para Cosan Araraquara Açúcar e Álcool Ltda	Araraquara - SP
Dois Córregos	3.600	100% para Dois Córregos Açúcar e Álcool Ltda	Dois Córregos - SP
Destilaria Melhoramentos	6.400	100% para Destilaria Melhoramentos S/A	Jussara - PR
Destilaria Paraguaçu	3.600	100% para Destilaria Paraguaçu Ltda	Paraguaçu Paulista - SP
Catanduva	9.000	100% para Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Álcool	Ariranha - SP

Colorado	52.760	100% para Açúcar e Alcool Oswaldo Ribeiro de Mendonça Ltda	Guaira - SP
Nova América	24.000	100% para Cosan Alimentos S.A.	Tarumã - SP
Equipav	58.400	100% para Renuka do Brasil S/A	Promissão - SP
Ibirá	7.952,50	100% para Pedra Agroindustrial S/A	Santa Rosa de Viterbo - SP
Sidrolândia (Ex-Santa Olinda)	4.600	100% para Eletron Centrais Elétricas Ltda	Sidrolândia - MS
Coopernavi	12.000	100% para Usina Naviraí S.A. Açúcar e Alcool	Naviraí - MS
Maracajú	10.400	100% para LDC Bioenergia S.A	Maracaju - MS
Passa Tempo	10.000	100% para LDC Bioenergia S.A	Rio Brillhante - MS
Jalles Machado	50.000	100% para Jalles Machado S/A	Goianésia - GO
Goianésia	7.300	100% para Usina Goianésia S.A.	Goianésia - GO
Santa Helena Açúcar e Alcool	4.400	100% para Usina Santa Helena Açúcar e Alcool S/A.	Santa Helena de Goiás - GO
Vale do Verdão	23.400	100% para Vale do Verdão S/A - Açúcar e Alcool	Turvelândia - GO
Goiasa	46.520	100% para Goiatuba Alcool Ltda	Goiatuba - GO
Coprodia	6.000	100% para Cooperativa Agrícola de Produtores de Cana de Campo Novo do Parecis Ltda	Campo Novo do Parecis - MT
Itamarati	28.000	100% para Usinas Itamarati S/A	Nova Olímpia - MT
Santa Terezinha Paranacity	46.000	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Paranacity - PR
Santa Terezinha (Ivaté)	9.000	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Ivaté - PR
Perobálcool	2.400	100% para Perobálcool Indústria de Açúcar e Alcool Ltda	Perobal - PR
Vale do Ivaí	18.400	100% para Vale do Ivaí S/A - Açúcar e Alcool	São Pedro do Ivaí - PR
Santa Terezinha	50.500	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Tapejara - PR
Sabarálcool	4.365	100% para Sabarálcool S.A. – Açúcar e Alcool	Engenheiro Beltrão - PR
Iguatemi (Ex. Santa Terezinha - Iguatemi)	3.400	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Maringá - PR
Jacarezinho	4.600	100% para Companhia Agrícola Usina Jacarezinho	Jacarezinho - PR
Destilaria de Alcool Ibaiti	3.600	100% para Destilaria de Alcool Ibaiti Ltda	Ibaiti - PR
Cofercatu	4.000	100% para Cooperativa Agropecuária dos Cafeicultores de Porecatu Ltda	Florestópolis - PR
Cooperval	3.600	100% para Cooperativa Agrícola de Produtores de Cana do Vale do Ivaí Ltda	Jandaia do Sul - PR

São Francisco	4.200	100% para Cosan S/A Indústria e Comércio	Elias Fausto - SP
Santa Rita	6.400	100% para Usina Santa Rita S/A - Açúcar e Álcool	Santa Rita do Passa Quatro - SP
Triálcool	15.000	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Canápolis - MG
Usina da Serra	15.000	100% para Cosan S/A Indústria e Comércio	Ibaté - SP
Santa Helena	4.800	100% para Cosan S/A Indústria e Comércio	Rio das Pedras - SP
Mumbuca	504	100% para Destilaria Pyles Ltda	Platina - SP
Delta	31.875	100% para Usina Caeté S/A	Delta - MG
Costa Pinto	75.000	100% para Cosan S/A Bioenergia	Piracicaba - SP
Santa Elisa - Unidade I	58.000	100% para LDC-SEV Bioenergia S.A	Sertãozinho - SP
Moreno	5.520	100% para Central Energética Moreno Açúcar e Álcool Ltda	Luís Antônio - SP
Citrosuco	7.000	100% para Citrosuco Paulista S/A.	Matão - SP
Clealco	11.200	100% para Clealco Açúcar e Álcool Ltda	Clementina - SP
Alcoazul	7.400	100% para Álcool Azul S/A	Araçatuba - SP
Quatá	65.000	100% para Acucareira Quatá S/A	Quatá - SP
Zanin	16.000	100% para Cosan Araraquara Açúcar e Álcool Ltda	Araraquara - SP
Coinbra - Frutesp	5.000	100% para Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial S.A.	Bebedouro - SP
Santa Maria de Lençóis	3.040	100% para Destilaria Santa Maria de Lençóis Ltda	Lençóis Paulista - SP
Santo Antônio	23.000	100% para Bioenergia Cogeneradora S/A	Sertãozinho - SP
UFA	25.200	100% para Usina Alto Alegre S/A Açúcar e Álcool	Presidente Prudente - SP
UJU	30.000	100% para Usina Alto Alegre S/A Açúcar e Álcool	Colorado - PR
JB	33.200	100% para Companhia Alcoolquímica Nacional - Alcoolquímica	Vitória de Santo Antão - PE
Santa Isabel	46.000	100% para Usina Santa Izabel Ltda	Novo Horizonte - SP
Santa Clara	302	100% para Destilaria Santa Clara Ltda	Jaboticabal - SP
Santa Hermínia	1.200	100% para Usina Santa Hermínia S/A	Ibirarema - SP
Cevasa	54.000	100% para Central Energética Vale do Sapucaí	Patrocínio Paulista - SP
Cooperfrigo	4.000	100% para Cooperativa de Autogestionária dos Trabalhadores na Produção Frigorífica	Promissão - SP
Destivale	3.200	100% para Destilaria Vale do Tietê S/A	Araçatuba - SP
Grizzo	1.968	100% para Destilaria Grizzo Ltda	Jaú - SP
Vista Alegre	35.000	100% para Agro Industrial Vista Alegre Ltda	Itapetininga - SP
Campo Florido	30.000	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar	Campo Florido -

		e Álcool	MG
Coruripe Iturama	24.000	100% para Coruripe Energética S/A	Iturama - MG
Cachoeira	7.400	100% para Usina Caeté S/A	Maceió - AL
Aralco	4.800	100% para Aralco S/A Comércio e Indústria	Santo Antônio do Aracanguá - SP
Japungu	16.800	100% para Japungu Agroindustrial S/A	Santa Rita - PB
Itaenga	47.000	100% para Termo Elétrica Itaenga Ltda	Lagoa do Itaenga - PE
Volta Grande	54.938	100% para Usina Caeté S/A	Conceição das Alagoas - MG
Marituba	20.500	100% para Usina Caeté S/A	Igreja Nova - AL
Serra Grande	17.200	100% para Usina Serra Grande S/A	São José da Laje - AL
Cucaú	12.600	100% para Zihuatanejo do Brasil Açúcar e Álcool Ltda	Rio Formoso - PE
Sumaúma	4.000	100% para Central Bioenergética Ltda	Marechal Deodoro - AL
Paísa	4.800	100% para Central Bioenergética Ltda	Penedo - AL
Capricho	2.400	100% para Central Bioenergética Ltda	Cajueiro - AL
Alvorada	8.000	100% para Energylev Ltda	Guaranésia - MG
Laginha-Matrix	4.950	100% para Laginha Agro Industrial S/A	União dos Palmares - AL
Gameleira	2.032	100% para Destilaria Gameleira S/A	Confresa - MT
Baía Formosa	40.000	100% para CPFL BIO FORMOSA S.A	Baía Formosa - RN
Trapiche	26.000	100% para Usina Trapiche S/A	Sirinhaém - PE
Estivas	17.000	100% para LDC Bioenergia S.A	Arês - RN
Central Olho D Água	4.200	100% para Usina Central Olho D Água S/A	Camutanga - PE
União e Indústria	4.600	100% para Usina União e Indústria S/A	Primavera - PE
Agrovale	14.000	100% para Agro Indústrias do Vale do São Francisco S/A	Juazeiro - BA
Ipojuca	9.200	100% para Usina Ipojuca S/A	Ipojuca - PE
Jitituba Santo Antônio	27.400	100% para Central Energética Jitituba Ltda	São Luís do Quitunde - AL
Una Açúcar e Energia	3.000	100% para Una Açúcar e Energia Ltda	Tamandaré - PE
Sinimbu	18.000	100% para Central Energética Vale do Jequiá Ltda	Jequiá da Praia - AL
Brasilândia	10.000	100% para Eletron Centrais Elétricas Ltda	Brasilândia - MS
Artivinco (anteriormente UTE Rio Pardo)	4.500	100% para Indústria e Comércio de Embalagens e Papéis Artivinco Ltda	Santa Rosa de Viterbo - SP
Pitangueiras	25.000	100% para Pitangueiras Açúcar e Álcool Ltda	Pitangueiras - SP
Termocana	8.200	100% para Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana Ltda	São Carlos do Ivaí - PR
Diamante	7.000	100% para Cosan S/A Indústria e	Jaú - SP



		Comércio	
Santa Teresa	20.200	100% para Empresa Energética Santa Teresa Ltda	Goiana - PE
Vale do Paranaíba	5.000	100% para Laginha Agro Industrial S/A	Capinópolis - MG
Giasa II	30.000	100% para LDC Bioenergia S.A	Pedras de Fogo - PB
São José Colina	50.000	100% para Companhia Energética São José	Colina - SP
Lasa	3.200	100% para Linhares Agroindustrial S/A	Linhares - ES
São José	25.520	100% para Usina São José S/A	Igarassu - PE
Santo Ângelo	11.500	100% para Usina Santo Ângelo Ltda	Pirajuba - MG
WD	6.560	100% para Destilaria WD Ltda	João Pinheiro - MG
Ipaussu	6.000	100% para Franco Brasileira S/A Açúcar e Álcool	Ipauçu - SP
J. L. G.	1.600	100% para KB Citrus Agroindústria Ltda.	Dobrada - SP
Canaã	30.000	100% para Cocal Comércio Indústria Canaã Açúcar e Álcool Ltda	Paraguaçu Paulista - SP
Seresta	9.500	100% para Central Energética Seresta Ltda	Teotônio Vilela - AL
Usaciga	48.600	100% para Açúcar Álcool e Energia Elétrica Ltda	Cidade Gaúcha - PR
Dasa	4.200	100% para Destilaria de Álcool Serra dos Aimorés S/A	Serra dos Aimorés - MG
Alcon	11.200	100% para Companhia de Álcool Conceição da Barra S/A	Conceição da Barra - ES
Iolando Leite	8.000	100% para Usina Termo Elétrica Iolando Leite Ltda	Capela - SE
Cooper-Rubi	2.400	100% para Cooperativa Agroindustrial de Rubiataba Ltda	Rubiataba - GO
Ceisa (Ex-Disa)	5.500	100% para Central Energética Itaúnas S/A.	Conceição da Barra - ES
Nova Geração	6.200	100% para Nova Geração Comércio e Serviços S.A	Jandaia - GO
Coruripe	16.000	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Coruripe - AL
CRV	4.000	100% para CRV Industrial Ltda	Carmo do Rio Verde - GO
Coinbra - Frutesp	8.000	100% para Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial S.A.	Matão - SP
Lago Azul	2.000	100% para Lago Azul Ltda	Ipameri - GO
Eldorado	25.019	100% para Usina Eldorado Ltda.	Rio Brillhante - MS
Müller Destilaria	2.000	100% para Companhia Müller de Bebidas	Porto Ferreira - SP
Fronteira	2.600	100% para Vale do Ivaí S/A - Açúcar e Álcool	Fronteira - MG

Cocamar Maringá	13.000	100% para Cocamar Cooperativa Agroindustrial	Maringá - PR
São Tomé	4.000	100% para Cocamar Cooperativa Agroindustrial	São Tomé - PR
Fartura	39.400	100% para Usina Santa Isabel S.A.	Mendonça - SP
Petribu	36.500	100% para Usina Petribu S/A	Lagoa do Itaenga - PE
Ribeirão	6.400	100% para Ribeirão Energia Ltda	Ribeirão - PE
Limeira do Oeste	5.000	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Limeira do Oeste - MG
Quirinópolis	80.000	100% para U.S.J. - Açúcar e Álcool S/A	Quirinópolis - GO
Vertente	8.000	100% para Usina Vertente Ltda	Guaraci - SP
Frutal	16.092	100% para Usina Frutal Açúcar e Álcool S.A.	Frutal - MG
Ouroeste	12.000	100% para Usina Ouroeste Açúcar e Álcool Ltda	Ouroeste - SP
Alcoolvale	4.200	100% para Alcoovale S.A	Aparecida do Taboado - MS
Triunfo	14.000	100% para Triunfo Agro Industrial S/A	Boca da Mata - AL
Usina Bertolo Açúcar e Álcool	3.800	100% para Usina Bertolo Açúcar e Álcool Ltda.	Pirangi - SP
Cerba	360	100% para Cerba Destilaria de Álcool Ltda	Piracicaba - SP
Pedrosa	2.400	100% para Vale Verde Empreendimentos Agrícolas Ltda	Cortês - PE
Interlagos	40.000	100% para Usina Santa Adélia S/A	Pereira Barreto - SP
Bem Brasil	2.125	100% para Bem Brasil Alimentos Ltda	Araxá - MG
Buriti	5.000	100% para Pedra Agroindustrial S/A	Buritizal - SP
Córrego Azul	520	100% para Destilaria Córrego Azul Ltda	Promissão - SP
Itapagipe	6.000	100% para Usina Itapagipe Açúcar e Álcool Ltda.	Itapagipe - MG
Centro Oeste Iguatemi	4.000	100% para Destilaria Centro Oeste Iguatemi Ltda	Iguatemi - MS
Unidade Santo Inácio - USI	70.000	100% para Usina Alto Alegre S/A Açúcar e Álcool	Santo Inácio - PR
Boa Vista	80.000	100% para Usina Boa Vista S.A.	Quirinópolis - GO
Energética Santa Helena	3.200	100% para Energética Santa Helena Ltda.	Nova Andradina - MS
Sali	9.900	100% para S.A. Leão Irmãos Açúcar e Álcool	Rio Largo - AL
Veríssimo	5.000	100% para Central Energética de Veríssimo Ltda.	Veríssimo - MG
Carneirinho	24.000	100% para Carneirinho Agroindustrial S.A.	Carneirinho - MG
Safi	4.640	100% para Safi Brasil Energia Ltda	Nova Alvorada do Sul - MS

TGN	1.200	100% para TGM Indústria e Comércio de Álcool e Aguardente Ltda.	Cerqueira César - SP
Destilaria Porto Alegre	2.400	100% para Destilaria Autônoma Porto Alegre Ltda.	Colônia Leopoldina - AL
Iacanga	19.000	100% para Usina Iacanga de Açúcar e Álcool S.A	Iacanga - SP
Nova Moreno	15.504	100% para Central Energética Moreno de Monte Aprazível Açúcar e Álcool Ltda.	Monte Aprazível - SP
Cerradinho Potirendaba	40.200	100% para NG Bioenergia S.A	Potirendaba - SP
Pau D´Alho	4.160	100% para Usina Pau D´Alho S.A	Ibirarema - SP
Usina Bonfim	111.000	100% para Barra Bioenergia S.A.	Guariba - SP
Junco Novo	1.200	100% para Junco Novo Ltda.	Capela - SE
Angélica	96.000	100% para Adecoagro Vale do Ivinhema Ltda	Angélica - MS
Usina Vale	4.400	100% para Onda Verde Agrocomercial S.A.	Onda Verde - SP
São José do Pinheiro	14.700	100% para Usina São José do Pinheiro Ltda	Laranjeiras - SE
Usina Monte Alegre	18.500	100% para Usina Monte Alegre Ltda	Monte Belo - MG
Coruripe Energética - Filial Campo Florido	30.000	100% para Coruripe Energética S/A	Campo Florido - MG
Cerradão	25.000	100% para Usina Cerradão Ltda.	Frutal - MG
Cocal II	80.000	100% para Cocal Comércio Indústria Canaã Açúcar e Álcool Ltda	Narandiba - SP
Pirapama	25.000	100% para Pirapama Bioenergia Ltda.	Vitória de Santo Antão - PE
LDC Bioenergia Lagoa da Prata (Ex.Louis Dreyfus Lagoa da Prata)	40.000	100% para LDC Bioenergia Lagoa da Prata	Lagoa da Prata - MG
LDC Bioenergia Rio Brillhante (Ex. Louis Dreyfus Rio Brillhante)	90.000	100% para LDC Bioenergia Rio Brillhante	Rio Brillhante - MS
Total	25.000	100% para Total Agroindústria Canaveira S/A	BambuÍ - MG
São Judas Tadeu	56.000	100% para Sada Bio-Energia e Agricultura Ltda.	Jaíba - MG
Equipav II	80.000	100% para Renuka Geradora de Energia Elétrica Ltda	Promissão - SP
Guariroba	12.000	100% para Usina Guariroba Ltda.	Pontes Gestal - SP
Comvap	8.800	100% para Comvap Açúcar e Álcool Ltda.	União - PI

Da Mata	40.000	100% para Da Mata S.A. - Açúcar e Álcool	Valparaíso - SP
Noroeste Paulista	60.000	100% para Noble Brasil S.A.	Sebastianópolis do Sul - SP
Uberaba	12.000	100% para Usina Uberaba S.A.	Uberaba - MG
Monções	20.000	100% para Açucareira Virgolino de Oliveira S.A.	Monções - SP
Usaçúcar - Terra Rica	16.500	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Terra Rica - PR
Santa Ines	2.600	100% para Irmãos Toniello Ltda.	Sertãozinho - SP
Pindorama	4.000	100% para Cooperativa de Colonização Agropecuária e Industrial Pindorama Ltda.	Coruripe - AL
Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial	4.000	100% para Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial S.A.	São Paulo - SP
Virgolino de Oliveira - Fazenda Canoas	5.000	100% para Açucareira Virgolino de Oliveira S.A.	José Bonifácio - SP
Agroalcool	1.200	100% para Destilaria Agroalcool Ltda.	Monte Aprazível - SP
Serranópolis	3.860	100% para Energética Serranópolis Ltda.	Serranópolis - GO
Monteverde	20.000	100% para Monteverde Agro-Energética S.A.	Ponta Porã - MS
Energética Vista Alegre	30.000	100% para Tonon Bioenergia S/A.	Maracaju - MS
Porto das Águas	70.000	100% para Usina Porto das águas Ltda	Chapadão do Céu - GO
Noble Energia	30.000	100% para Noble Brasil S.A.	Sebastianópolis do Sul - SP
Santa Luzia I	80.000	100% para Agro energia Santa Luzia Ltda	Nova Alvorada do Sul - MS
Porto Alegre	2.400	100% para Destilaria Autônoma Porto Alegre Ltda.	Colônia Leopoldina - AL
Conquista do Pontal	60.000	100% para Usina Conquista do Pontal S.A.	Mirante do Paranapanema - SP
Caçú I	80.000	100% para Rio Claro Agroindustrial S.A.	Caçu - GO
Guaíra Energética	55.000	100% para Central Energética Guaíra Ltda.	Guaíra - SP
Vale do Tijuco	45.000	100% para Companhia Energética de Açúcar e Álcool Vale do Tijuco Ltda.	Uberaba - MG
Clealco-Queiroz	45.000	100% para Clealco Açúcar e Álcool Ltda	Queiroz - SP
Unidade de Bioenergia Costa Rica	79.828	100% para Companhia Brasileira de Energia Renovável	Costa Rica - MS
São Fernando	48.000	100% para São Fernando Açúcar e	Dourados - MS

Açúcar e Álcool		Álcool Ltda.	
Vale do São Simão	55.000	100% para Companhia Energética Vale do São Simão	Santa Vitória - MG
Barra Bioenergia	66.000	100% para Barra Bioenergia S.A.	Barra Bonita - SP
Biopav II	65.000	100% para Revati Geradora de Energia Elétrica Ltda	Brejo Alegre - SP
Bioenergética Vale do Paracatu - BEVAP	55.000	100% para Bioenergética Vale do Paracatu S/A.	João Pinheiro - MG
Rio Pardo	60.000	100% para Usina Rio Pardo S.A.	Cerqueira César - SP
Tropical Bioenergia	15.000	100% para Tropical Bioenergia S.A.	Edéia - GO
Itumbiara	56.000	100% para Central Itumbiara de Bioenergia e Alimentos S.A	Itumbiara - GO
Ituiutaba	56.000	100% para Ituiutaba Bioenergia Ltda	Ituiutaba - MG
Guarani - Tanabi	4.000	100% para Guarani S.A	Tanabi - SP
Tabu	8.400	100% para Agro Industrial Tabu S.A.	Caaporã - PB
Caarapó	76.000	100% para Nova América S.A. Industrial Caarapó	Caarapó - MS
Biolins	28.000	100% para JBS S.A	Lins - SP
Passos	14.090	100% para Usina Itaiquara de Açúcar e Álcool S/A.	Passos - MG
Madecal	3.200	100% para Madecal Agro Industrial Ltda.	Caçador - SC
São Miguel	13.200	100% para São Miguel - Central Geradora de Energia Ltda.	São Miguel dos Campos - AL
Monterrey	3.500	100% para Antônio Ruetta Agroindustrial Ltda.	São Paulo - SP
Santa Juliana	88.000	100% para Agroindustrial Santa Juliana S.A.	Santa Juliana - MG
Alcoa Porto	5.644	100% para Petrobrás Distribuidora S/A	Juruti - PA
Baldin	45.000	100% para CPFL Bioenergia S.A.	Pirassununga - SP
Laranjeiras	4.825	100% para Usivale Indústria e Comércio Ltda.	Vicência - PE
Mundial	3.600	100% para Cosan S/A Indústria e Comércio	Mirandópolis - SP
Ipaussu Bioenergia	38.000	100% para Barra Bioenergia S.A.	Ipauçu - SP
Bom Jesus	3.200	100% para Usina Bom Jesus S.A.	Cabo de Santo Agostinho - PE
Itapuranga	2.800	100% para Vale Verde Empreendimentos Agrícolas Ltda	Itapuranga - GO
DVPA	28.000	100% para Destilaria Vale do Paracatu Agroenergia Ltda.	Paracatu - MG
Colombo Santa Albertina	2.000	100% para Usina Colombo S/A Açúcar e Álcool	Ariranha - SP

José Bonifácio	19.000	100% para Açucareira Virgolino de Oliveira S.A.	José Bonifácio - SP
Vicentina	2.000	100% para Central Energética Vicentina Ltda.	Vicentina - MS
Codora	48.000	100% para Codora Energia Ltda	Goianésia - GO
Vitória	4.225	100% para Norte e Sul Energia Ltda	Palmares - PE
Vale do Ivaí - Cambuí	3.600	100% para Vale do Ivaí S/A - Açúcar e Álcool	São João do Ivaí - PR
Cabrera	25.000	100% para Cabrera Central Energética Açúcar e Álcool Ltda	Limeira do Oeste - MG
Salgado	3.600	100% para Usina Salgado S.A	Ipojuca - PE
Coplasa	10.000	100% para Coplasa Açúcar e Álcool Ltda	Planalto - SP
Campo Lindo	16.000	100% para Agro Industrial Campo Lindo Ltda	Nossa Senhora das Dores - SE
Manacá	5.000	100% para UTEMA – Usina Termelétrica Manacá Ltda	Itumbiara - GO
Buriti	50.000	35,73% para Buritzal Central Energética Ltda 64,27% para CPFL BIO BURITI S.A	Buritzal - SP
Ibéria	6.520	100% para Ibéria Industrial e Comercial Ltda.	Borá - SP
Viralcool Castilho	15.520	100% para Viralcool - Açúcar e Álcool Ltda.	Castilho - SP
Mogiana Bio-Energia	4.000	0% para Usina Alta Mogiana S/A Açúcar e Álcool	São Joaquim da Barra - SP
Selecta	11.400	100% para Sementes Selecta S.A	Araguari - MG
Rosa S.A. Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas	1.280	100% para Rosa S.A. Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas	Boituva - SP
São Fernando Energia I	50.000	não identificado	Dourados - MS
Usina Laguna Açúcar e Álcool	2.400	100% para Usina Laguna Açúcar e Álcool Ltda	Ponta Porã - MS
Unidade Bom Sucesso	4.500	100% para Vale Verde Empreendimentos Agrícolas Ltda	Goiatuba - GO
Bom Sucesso Agroindústria	4.500	Não identificado	Goiatuba - GO
Usina Coruripe Açúcar e Álcool	20.000	100% para S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Iturama - MG
Rio Vermelho Energia	3.600	100% para Rio Vermelho Açúcar e Álcool S.A.	Junqueirópolis - SP
Figueira Indústria e Comércio	4.400	100% para Figueira Indústria e Comércio S/A	Buritama - SP
Fischer	5.000	100% para Fischer S.A. Comércio, Indústria e Agricultura	Limeira - SP
Alcoeste	4.280	100% para Alcoeste Destilaria	Fernandópolis -

Destilaria Fernandópolis		Fernandópolis S/A	SP
Taquari	8.000	100% para Agro Industrial Capela Ltda	Capela - SE
Total: 347 Usinas		Potência Total: 7.263.608 kW	

Fonte: ANEEL:BIG, 2012 – Acesso em 19/01/2012.

## APÊNDICE C / Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de usinas termoeletricas a biomassa

Tabela C.1 – Impactos socioambientais decorrentes da construção e operação de usinas termoeletricas a biomassa.

Aspectos	Impactos	TO	Medidas mitigadoras ou compensatórias / Projetos /Programas
Ocupação do solo (pre-paração, terraplenagem, desmatamento, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- interferência com população local</li> <li>- interferência com flora e fauna</li> <li>- produção de ruído e poeira</li> <li>- erosão do solo</li> <li>- alteração do uso do solo</li> <li>- emissão de gases de efeito estufa e causadores de deposição ácida pelas máquinas e caminhões utilizando derivados de petróleo</li> </ul>	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compensação monetária ou permuta de áreas</li> <li>Recuperação das áreas degradadas</li> <li>Arborização - criação de cinturões verdes</li> <li>Utilização de sistemas anti-poeiras</li> <li>Regulagem das máquinas utilizadas evitando produção de ruídos e emissões desnecessárias</li> </ul>
Transporte de equipamento pesado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poluição sonora</li> <li>- perturbação do trânsito local</li> </ul>	C	Planejamento do sistema de tráfico de modo a se evitar os horários de pico
Movimentos migratórios causados pela construção da usina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aumento da demanda por serviços públicos, habitação e infra-estrutura de transporte</li> <li>- alteração da organização sócio-cultural e política da região</li> <li>- aumento das atividades econômicas da região com possível posterior retração após o término do empreendimento.</li> </ul>	C/O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoio na construção do Plano Diretor do Município</li> <li>Adequação das infra-estruturas de habitação, educação e transporte</li> <li>Gestão institucional</li> </ul>
Distorção estética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poluição visual</li> </ul>	C/O	Projetos paisagísticos e arquitetônicos para redução do impacto visual
Produção de efluentes sanitários	<ul style="list-style-type: none"> <li>- disseminação de doenças</li> <li>- diminuição de oxigênio dissolvido nos corpos receptores</li> <li>- interferência com fauna e flora aquáticas</li> </ul>	C/O	Utilização de sistemas compactos para tratamento de esgotos (separado do tratamento de outros efluentes líquidos)
Produção de Ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poluição sonora no interior e fora da usina</li> </ul>	C/O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projetos e programas específicos para redução de ruído</li> <li>Monitoramento de ruídos</li> </ul>
Produção de emissões aéreas de material particulado	<p>Dependendo da concentração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- problemas respiratórios</li> <li>- interferência na flora e na fauna</li> <li>- efeito estético indesejável</li> </ul>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remoção dos inertes após a combustão (filtros)</li> <li>Dispersão em chaminés adequadas</li> <li>Utilização de tecnologias modernas de combustão com maior eficiência</li> <li>Monitoramento das emissões</li> </ul>
Produção de emissões aéreas de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribuição para o efeito estufa</li> </ul>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manejo da plantação na região para fixação do carbono</li> <li>Utilização de tecnologias modernas de combustão com maior eficiência (gaseificação, pirólise)</li> </ul>
Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem de combustíveis líquidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação dos cursos de água</li> <li>- Interferência na flora e fauna aquáticas</li> </ul>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de retenção de óleo (caixas separadoras, diques de contenção e bacias de emergência)</li> <li>Impermeabilização das áreas de estocagem</li> </ul>
Efluentes líquidos da drenagem pluvial, lavagens, tratamento de água e purgas de processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elevação do teor de sólidos suspensos e dissolvidos</li> <li>- interferência na flora e fauna aquáticas</li> <li>- contaminação do lençol freático</li> </ul>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implantação de sistemas enclausurados de manuseio de combustível sólido e cinzas</li> <li>Cuidados operacionais evitando o espalhamento de partículas combustíveis e cinzas no pátio da usina</li> <li>Bacias de sedimentação e neutralização</li> <li>Monitoramento dos efluentes líquidos</li> </ul>
Produção de efluentes provenientes do sistema de água de resfriamento	<p>Dependendo da tecnologia empregada:</p> <p><u>Sistema aberto:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elevação da temperatura da água no corpo receptor</li> <li>- redução de oxigênio dissolvido</li> <li>- interferência com fauna e flora aquáticas</li> </ul> <p><u>Sistema fechado/torre úmida:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- névoa quimicamente ativa (biocidas e agentes anti-corrosivos)</li> <li>- redução da visibilidade</li> <li>- interação da névoa úmida com a pluma da chaminé (causando acidificação da atmosfera)</li> </ul> <p><u>Sistema fechado/torre seca de refrigeração:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alguns (pequenos) impactos na atmosfera e recursos hídricos</li> </ul>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudos de dispersão térmica no corpo receptor de água</li> <li>Avaliação dos impactos no ecossistema aquático</li> <li>Monitoração do ecossistema</li> <li>Utilização de torres com sistemas de diminuição de névoa ("demisters")</li> <li>Localização das torres levando em conta os ventos predominantes na região</li> <li>Medidas para evitar a superposição da névoa com a pluma</li> <li>Verificação da interferência aerodinâmica da torre de refrigeração com as condições de dispersão da pluma da chaminé</li> </ul>

Legenda: TO = Tempo de Ocorrência; C= Construção; O= Operação; PO= Pós-operação.

Fonte: MME:EPE - Plano Nacional de Energia 2030, 2006-2007.