

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

ADEMAR DIAS PEREIRA

**BIOMASSA, FONTE RENOVÁVEL PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA**

**BAURU
2008**

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

ADEMAR DIAS PEREIRA

**BIOMASSA, FONTE RENOVÁVEL PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA**

Monografia apresentada como trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de bacharel em química. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Aparecida Zeferino.

**BAURU
2008**

Pereira, Ademar Dias

P4361b

Biomassa, fonte renovável para produção de energia / Ademar Dias Pereira – 2008.
59f.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Ap. Zerefino
Trabalho de Conclusão Curso (Bacharel em Química) - Universidade do Sagrado Coração – Bauru - São Paulo.

1. Biomassa 2. Energia 3. Petróleo 4. Gás – carbônico I. Zerefino, Márcia Ap. II. Título

ADEMAR DIAS PEREIRA

**BIOMASSA, FONTE RENOVÁVEL PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA**

Monografia apresentada como trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de bacharel em química. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Aparecida Zeferino.

Bauru, 02 de Julho de 2008.

Dedico este trabalho à minha esposa Juliana, aos meus filhos Luccas e Lívia, que tanto sentiram a minha ausência ao decorrer desses vários anos de estudos acadêmicos.

Agradeço a Deus, pois sem Ele nada seria possível, a meus pais Manoel e Elisabete que me apoiaram nos momentos difíceis da minha vida, dando-me amor, carinho, atenção..., agradeço também a minha orientadora Márcia Zeferino, e a todos os professores, funcionários e colegas que de alguma forma contribuíram para meu sucesso.

“Na natureza nada se cria, nada se perde;
tudo se transforma”.

Lavoisier

RESUMO

Atualmente o mundo está passando por uma crise no setor de abastecimento energético, isso está acontecendo em decorrência do aumento de consumo de energia, e devido à escassez de investimentos nesse departamento. Pois hoje, o petróleo é a principal fonte de produção de energia e o grande impulsionador da economia mundial. Entretanto, esse combustível fóssil, se extinguirá nos próximos 100 anos. Sabendo-se que demora milhões de anos para sua formação, diante desse fato, conclui-se que o mesmo é uma fonte esgotável, e também um dos principais poluidores do planeta. Devido a essas desvantagens faz-se necessário a busca de fontes alternativas para sua substituição ou para diminuição de seu uso. Uma dessas alternativas é a utilização da biomassa para obtenção de energia, que além de ser uma fonte renovável, é uma grande aliada na diminuição das concentrações de gases tóxicos emitidos na atmosfera, por apresentar um balanço global de CO₂ nulo. Portanto pode se tornar a principal fonte energética da atualidade. A biomassa é muito utilizada em países subdesenvolvidos, pois desempenha um importante papel no setor industrial, ou seja, muitas indústrias produzem sua própria energia e ainda vendem o seu excedente. O Brasil é um desses países subdesenvolvidos que está utilizando a biomassa para a co-geração de energia elétrica, e a principal matéria orgânica para esse processo é o bagaço de cana-de-açúcar, no entanto, em menor escala temos a lenha, a casca de arroz, o bagaço de cupuaçu e outros, também utilizados para produção de energia. Diante de tudo que foi relatado nesse trabalho conclui-se que a biomassa é uma fonte renovável de energia que ressurgiu para ficar.

PALAVRAS CHAVE: biomassa, energia, petróleo, gás carbônico.

ABSTRACT

Today the world is undergoing a crisis in the sector of energy supply, this is happening due to the increase of energy consumption, and because of the shortage of investments in that department. For now, oil is the main source of energy production and the great driver of the global economy. However, this fossil fuel, be extinguished over the next 100 years. As it takes millions of years to their forming, it says that it is a exhaustiv. It is also a major polluters of the planet, and due to these drawbacks it is necessary to search for alternative sources for its replacement or to decrease in their use. One such alternative is the use of biomass to obtain energy, which besides being a renewable source, is a great ally in reducing concentrations of toxic gases emitted into the atmosphere, to present a comprehensive review of CO₂ null, moreover the same may become the main source of energy today. Biomass is widely used in developing countries, because it plays an important role in the industrial sector, as many industries produce their own energy and sell its surplus. Brazil is one of those developing countries that are using biomass for co-generation of electricity, and the main organic matter to this process is bagasse, sugar cane, however, the firewood, the bark of rice, pomace of cupuaçu and others, are also used for production of energy, but in smaller scale. In the face of everything that was reported in this study concluded that the biomass is a renewable source of energy that reappeared to stay.

KEY WORDS: biomass, energy, oil, carbonic gas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caldeira para queima de biomassa	17
Figura 2 – Processo Simples de Produção de Biogás	18
Figura 3 – Moenda para extração.....	19
Figura 4 – Gaseificador utilizado para produção de energia elétrica	20
Figura 5 – Plantação de cana-de-açúcar.....	21
Figura 6 – Depósito de bagaço de cana-de-açúcar.....	22
Figura 7 – Fórmula da celulose.....	23
Figura 8 – Molécula de lignina, simulação da estrutura e das possíveis ligações....	24
Figura 9 – Fórmulas dos açúcares componentes das polioses	25
Figura 10 – Canavial com cana e palha sobre o solo.....	26
Figura 11 – Madeiras após corte.....	28
Figura 12 – Fruta do cupuaçu.....	31
Figura 13 – Casca de arroz.....	35
Figura 14 – Digestor de Biogás.....	38
Figura 15 – Álcool Combustível.....	41
Figura 16 – Reação de transesterificação de um óleo vegetal o metanol.....	44
Figura 17 – Biodiesel e algumas matérias-primas para sua produção.....	45
Figura 18 – Carvão Vegetal.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Imediata, Elementar e Poder Calorífico do Bagaço de Cana.....	25
Tabela 2 – Médias de Composição Imediata e poder calorífico superior da biomassa da cana-de-açúcar.....	27
Tabela 3 – Composição elementar da madeira	29
Tabela 4 – Resultados da análise elementar da casca de Cupuaçu.....	34
Tabela 5 – Poder calorífico da casca de cupuaçu.....	35
Tabela 6 – Poder calorífico inferior de alguns sólidos	36
Tabela 7 – Análise elementar da cascas de arroz <i>in natura</i>	36
Tabela 8 – O biogás apresenta a seguinte composição química:.....	37
Tabela 9 – Principais fontes de energia.....	47
Tabela 10 – Atuais necessidades energéticas.....	49
Tabela 11 – Uso energético de biomassa em alguns países, 1987	51
Tabela 12 – Taxas de Crescimento de Fontes Renováveis de Energia Primária, Brasil, 1970 - 2003.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Perda de massa em função da Temperatura.....	33
Gráfico 2 – Derivada da perda de massa em função da temperatura	34
Gráfico 3 – Matriz energética brasileira (eletricidade), 2004	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	16
2-1 TIPOS DE PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE BIOMASSA EM ENERGIA.....	16
2-1-1 Combustão	16
2-1-2 Decomposição.....	17
2-1-3 Extração e transformação	18
2-1-4 Gaseificação..	19
2-1-5 Pirólise	20
2-2 TIPOS DE BIOMASSA RENOVÁVEIS.....	21
2-2-1 Bagaço de cana-de-açúcar	21
2-2-2 Folhas, palhas e as pontas da cana-de-açúcar.....	26
2-2-3 Madeira.....	28
2-2-4 Casca de cupuaçuzeiro	30
2-2-5 Casca de arroz.....	35
2-2-6 Biogás.....	37
2-3 BIOMASSA SUAS VANTAGENS E DESVANTAGENS	39
2-3-1 Vantagens	39
2-3-2 Desvantagens	40
2-4 BIOCOMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS DERIVADOS DE BIOMASSA	40
2-4-1 O que é biocombustível?	40
2-4-2 Álcool	40
2-4-3 Biodiesel	42
2-4-4 Carvão Vegetal	45

2-5 AS FONTES E AS TRANSFORMAÇÕES ENERGÉTICAS.....	46
2-6 O USO DA ENERGIA E SUA IMPORTÂNCIA SOCIAL.....	48
2-7 APROVEITAMENTO DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	50
3 CONCLUSÃO	53
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mundo está passando por uma crise no setor de abastecimento de energia, ou seja, a escassez de investimentos no setor e o aumento no consumo apresentam um problema que assume proporções assustadoras, diante desse fato que propostas poderiam ser apresentadas para acabar ou reduzir com essa falha no déficit energético?

Embora o petróleo ainda seja o sangue da economia atual, isso poderá ser modificado em um intervalo de tempo menor que o esperado, pois estudiosos de diversos países estão empenhados em desenvolver novas tecnologias que visam substituir uma parcela razoável de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, seguindo uma nova ordem mundial que busca repensar as formas de obtenção e geração de energia preservando o meio ambiente.

Como combustível alternativo hoje está se falando muito sobre a biomassa que é um combustível renovável, ou seja, que na medida em que esta se consumindo a biomassa para queima (geração de energia), esta se reflorestando e replantado a mesma, garantindo assim um ciclo de renovação da espécie a ser cultivada. No entanto isso não é possível se fazer com os combustíveis não renováveis, pois os mesmos para se formarem levam milhões de anos, diante desse fato e do exagerado consumo desse combustível pode-se dizer que essa fonte é esgotável.

Em relação à nova tecnologia pode-se dizer que nas últimas décadas, os custos de instalação e manutenção dessas inovações (solar, eólica, biomassa dentre outras) vêm caindo significativamente. Dando uma maior ênfase a tecnologia de aproveitamento da biomassa, quer seja de resíduos de madeira, agrícola ou urbano e industrial. O Brasil já possui um competente parque industrial para fornecimento de equipamentos e sistemas de geração elétrica, no entanto, não aproveita, pois sua produção energética ainda é pequena.

A biomassa constitui uma fonte renovável de produção energética. Apresentando assim um balanço global de gás carbônico nulo, gerando apenas 1% de cinzas que devem ser aproveitadas ou recicladas. Diante disso pode-se dizer que a mesma será muito importante para o planeta nos próximos anos, pois além da

diminuição da concentração dos gases tóxicos emitidos na atmosfera, há também um aproveitamento do seu resíduo (que muitas vezes era jogado fora).

Biomassa é todo recurso renovável de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal), que pode ser utilizado na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar (CERPCH, 2008).

A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. Essa energia química pode ser liberada diretamente por combustão, ou convertida através de algum processo em outras fontes energéticas como o álcool e carvão vegetal.

Estimam-se anualmente a produção de 220×10^9 toneladas de biomassa, pelo processo de fotossíntese, ou seja, aproveitando apenas 1 % da radiação solar incidente sobre a terra (CERPCH, 2008).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica.

O objetivo desse trabalho é mostrar que existem alternativas para a produção de energias, ou seja, uma delas é a energia obtida através da biomassa, que além de ser uma fonte renovável, é uma grande aliada na diminuição das concentrações de gases tóxicos emitidos na atmosfera, além do mais a mesma pode se tornar uma importante fonte alternativa de energia, sabendo-se que a principal fonte energética da atualidade, ou seja, o petróleo, poderá se extinguir do planeta nos próximos 100 anos.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2-1 TIPOS DE PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE BIOMASSA EM ENERGIA

Se o processo de transformação da biomassa em energia for executado de maneira eficiente e controlada, a queima resultará em água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2), além da própria energia. Devido a este motivo, a biomassa é considerada uma fonte totalmente renovável e, se empregada da forma correta, não-poluente. Produzida eficientemente, a biomassa também pode representar uma parcela significativa da energia total gerada em um país. Atualmente, utilizam-se principalmente cinco formas de conversão da biomassa, ou seja, combustão, decomposição, extração e transformação, gaseificação e pirólise.

2-1-1 Combustão

É a tecnologia de conversão mais difundida comercialmente, principalmente para resíduos agroindustriais. O processo consiste na queima da biomassa em caldeiras (figura 1) a altas temperaturas na presença abundante de oxigênio (O_2). Geralmente as caldeiras fornecem vapor e ar quente para processos permitindo a geração de energia elétrica com turbinas a vapor. Em caldeiras modernas é comum a geração de vapor a pressões entre 7-14 MPa e temperatura na faixa de 500-550°C. A eficiência do ciclo depende das condições termodinâmicas (pressão e temperatura) do vapor gerado (JUNIOR et al., 2000).



Figura 1 – Caldeira para queima de biomassa
(Fonte: http://www.iar-pole.com/presentationbrazil/waldir_ibama.pdf).

2-1-2 Decomposição

A decomposição da biomassa gera o gás metano, também conhecido como biogás (figura 2), que pode ser utilizado tanto para o aquecimento (fogões residenciais e industriais) como para a geração de energia elétrica. Uma das fontes de biogás no meio rural são os dejetos de animais, como porcos e vacas.

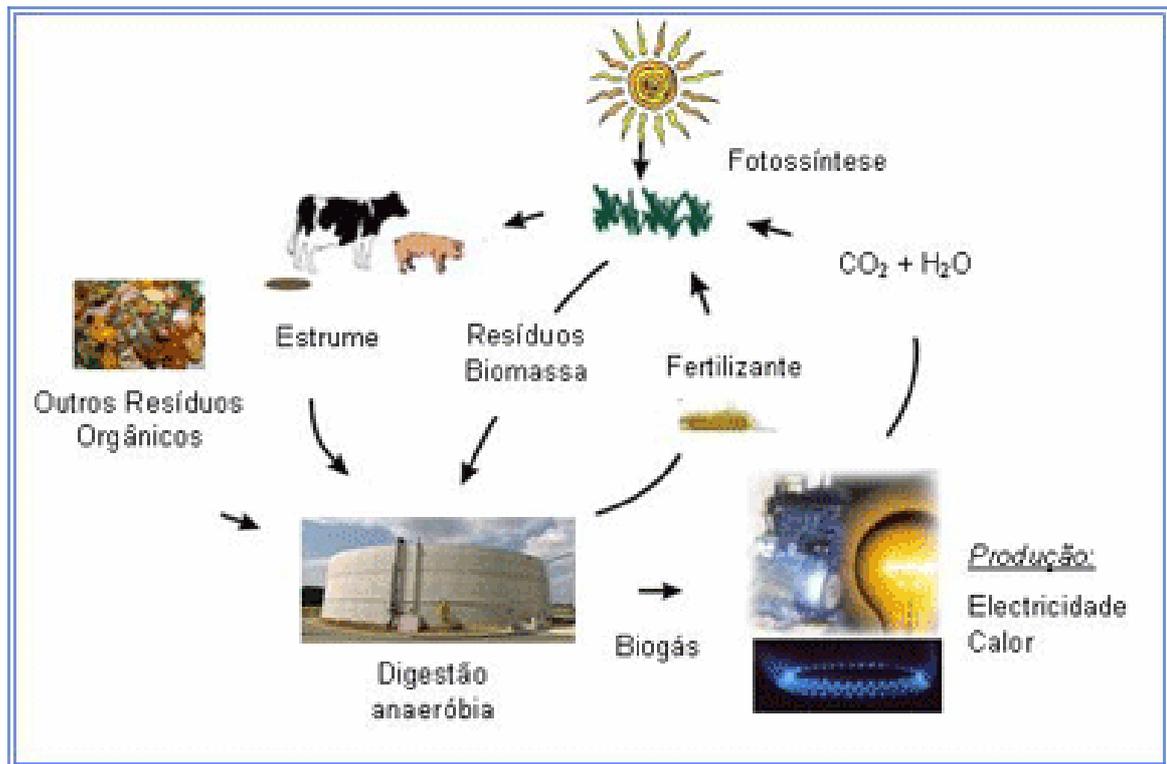


Figura 2 – Processo Simples de Produção de Biogás
(Fonte: www.lamtec-id.com/img/projecto/info/biogas.gif)

2-1-3 Extração e transformação

O processo de extração consiste na separação da matéria orgânica sólida (biomassa) da parte líquida. Essa separação é feita por intermédio de uma moenda de extração (figura 3).

Após a separação a biomassa é destinada principalmente para produção de energia elétrica, já parte líquida, através de um processo químico é transformada em biocombustíveis, ou mesmo em óleos alimentícios.



Figura 3 – Moenda para extração

(Fonte: br.geocities.com/mil_ltda/microd6.jpg)

2-1-4 Gaseificação

Gaseificação de biomassa é basicamente a conversão de combustíveis sólidos (madeira, rejeitos de agricultura, etc...) em uma mistura gasosa combustível, popularmente conhecida por gás de baixo poder calorífico. O processo de gaseificação é definido como uma combustão parcial da biomassa. A combustão parcial ocorre quando o ar, ou mais precisamente o oxigênio, está em quantidade inferior ao que seria necessário para uma queima completa da biomassa. Em uma combustão completa, dado que a biomassa contém moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio, teria-se como produto dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O). Já em uma combustão parcial produz-se monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2), que são ambos combustíveis. Em princípio qualquer tipo de biomassa pode ser convertida em combustível gasoso usando este processo (SILVA, 2008).



Figura 4 – Gaseificador utilizado para produção de energia elétrica
(Fonte: <http://www.solarterra.com.br/pdf/gaseificadores.PDF>)

2-1-5 Pirólise

Através desta técnica, a biomassa é exposta a altíssimas temperaturas sem a presença de oxigênio (O_2), visando acelerar a decomposição da mesma. O que sobra da decomposição é uma mistura de gases (CH_4 , CO e CO_2 – respectivamente, metano, monóxido de carbono e dióxido de carbono), líquidos (óleos vegetais) e sólidos (basicamente carvão vegetal). O gás produzido nesse processo pode ser utilizado para aquecimento ou como combustível em motores de combustão (SILVA, 2008).

2-2 TIPOS DE BIOMASSA RENOVÁVEIS

2-2-1 Bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (figura 5) é originária do continente Asiático, trazida logo após o descobrimento do Brasil, pelos portugueses. É composta pelo colmo, as folhas e os ponteiros. O colmo é levado para as usinas e dele é extraída a matéria-prima principal da indústria sucroalcooleira, o caldo (utilizado para produzir álcool combustível, açúcar). Após a extração do caldo a biomassa constituída das fibras moídas da cana-de-açúcar, o bagaço de cana, resulta como subproduto do processo de obtenção do caldo.



Figura 5 – Plantação de cana-de-açúcar

(Fonte: Própria)

Na década de 80 o bagaço de cana-de-açúcar (figura 6) tornou-se um produto com grande potencial energético, industrial e agropecuário, resultado de uma série

de medidas desenvolvidas para sua valorização, tais como o desenvolvimento de técnicas de estocagem e manuseio do bagaço, a aplicação como matéria-prima para indústria de papel e celulose, de furfural e de produtos aglomerados, e a utilização como ração animal e fertilizante no setor agrícola e principalmente como insumo energético.



Figura 6 – Depósito de bagaço de cana-de-açúcar

(Fonte: Própria)

Assim como qualquer outro resíduo vegetal, o bagaço da cana tem em sua composição (em base seca) química, os seguintes compostos:

A celulose ilustrada na figura 7 é um composto químico orgânico que existe em maior abundância nas plantas e em toda a superfície terrestre e é aproveitada pelos ruminantes em diferentes graus, ou seja, no bagaço de cana-de-açúcar apresentam valores que oscilam desde 50 a 60 % (KLOCK et al., 2005).

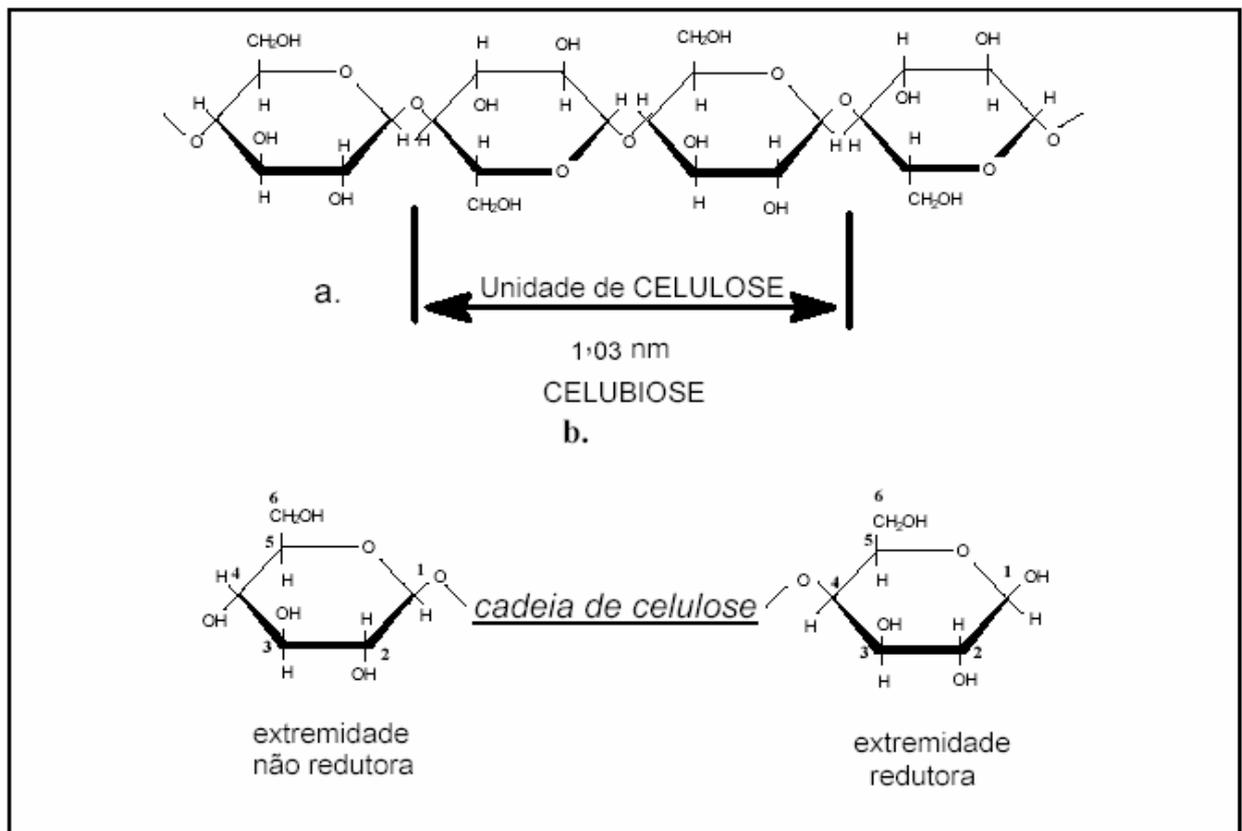


Figura 7 – Fórmula da celulose

(Fonte: www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf)

A lignina mostrada na figura 8 é basicamente um polímero aromático constituído de um sistema heterogêneo e ramificado sem nenhuma unidade repetidora definida, ou seja, sua constituição é totalmente amorfa e ligada quimicamente às polioses, à mesma é encontrada na maioria das plantas, mas sua composição não é idêntica em todas elas. Na fibra do bagaço de cana-de-açúcar a porcentagem de lignina presente varia entre 20 a 25% (NETO, 2001).

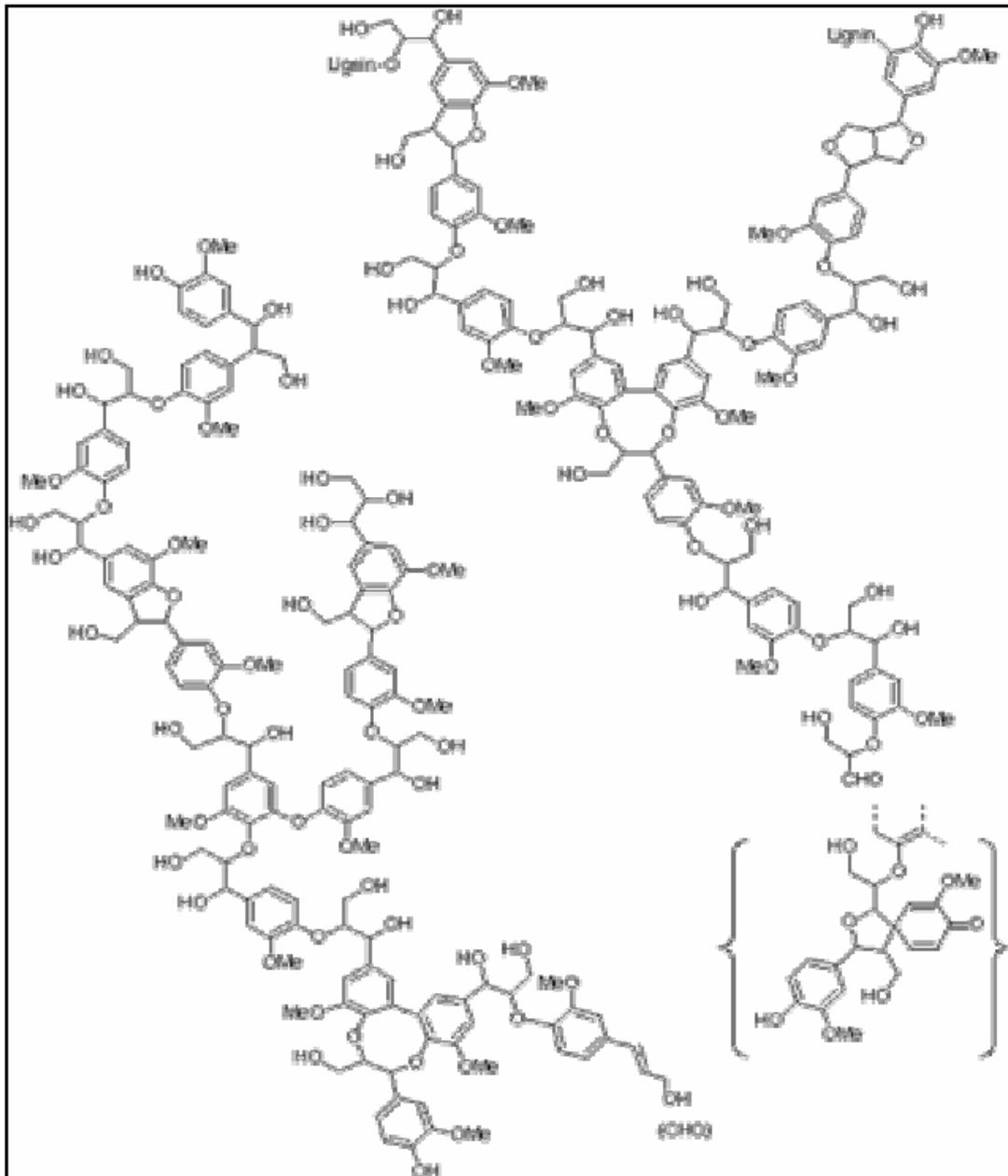


Figura 8 – Molécula de lignina, simulação da estrutura e das possíveis ligações.
(Fonte: www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf)

As Polioses ou hemiceluloses refere-se a uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixa massa molecular, os quais estão intimamente associados com a celulose nos tecidos das plantas como ilustra esquematicamente a figura 9.

A hemicelulose é constituída por cinco açúcares neutros, as hexoses: glucoses, manose e galactose; e as pentoses: xilose e arabinose. Algumas polioses contêm adicionalmente ácidos urônicos. Suas cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns

casos (KLOCK et al., 2005). No bagaço de cana ela encontra-se entre 20 a 25 % (NETO, 2001).

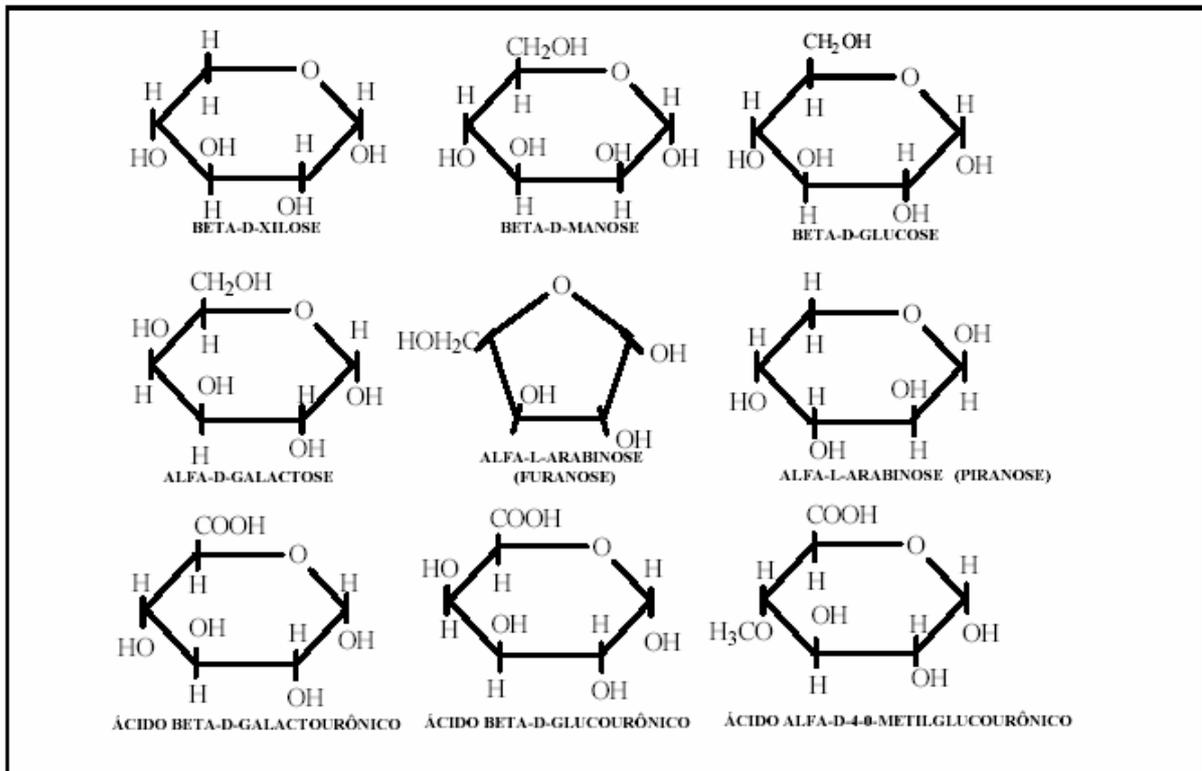


Figura 9 – Fórmulas dos açúcares componentes das poliose

(Fonte: www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf)

Observe na tabela 1 a composição Imediata, Elementar e o Poder Calorífico do bagaço de cana-de-açúcar.

A composição Imediata é conseguida pela análise dos produtos da combustão, para um balanço rápido da queima e sua qualidade, já a composição elementar é o balanço completo dos gases e combustíveis utilizados na queima para uma estimativa da demanda.

Tabela 1 – Composição Imediata, Elementar e Poder Calorífico do Bagaço de Cana

Composição Imediata (% massa, base seca)			Composição Elementar (% massa, base seca)					Poder Calorífico (MJ/kg, base seca)	
C fixo	Voláteis	cinzas	C	H	O	S	N	Superior	Inferior
13	83	4	46,3	6,4	43,3	< 1,0	-	18,9	17,5

(Fonte: www.ppeufrj.br/pepe/production/tesis/vcneto.pdf).

Para a determinação da quantidade de biomassa residual da cultura da cana-de-açúcar utilizam-se as definições apresentadas por NETO (2001).

- Coeficiente de Resíduos (CR): relação entre a quantidade de resíduo total (em base seca) e a massa da colheita com umidade do campo (MC);
- Coeficiente de Disponibilidade (CD): relação entre a quantidade de resíduo disponível (em base seca) e a massa total de resíduos, em %;
- Quantidade Total de Resíduos (CRE): $CRE = MC \times CR$

2-2-2 Folhas, palhas e as pontas da cana-de-açúcar

As folhas, as palhas e as pontas, são biomassas constituídas durante o crescimento da cana-de-açúcar que nunca foram valorizadas, sendo integralmente descartadas. A prática agrícola de despalha manual da cana-de-açúcar já a muito foi abandonada devido ao baixo rendimento do trabalho manual, cedendo lugar ao método de queima da palha antes do corte, esta prática de queima antes do corte ocorre até hoje, mas vem sendo abolida em alguns estados devido aos seus inconvenientes ambientais e a extrema poluição atmosférica provocada, principalmente nas regiões de maior concentração da produção, ou seja, no estado de São Paulo. A palha e ponta da planta (figura 10), que é colhida sem queimar, ficam disponíveis no campo e depois é transportada até a usina, onde a mesma será queimada junto ao bagaço.



Figura 10 – Canavial com cana e palha sobre o solo
(Fonte: www.ifolha.com.br/img_not/21-04-07/c_anavial.gif)

Segundo NETO (2001) a COPERSUCAR foi à primeira empresa a dar importância para a palha e pontas da cana-de-açúcar, notando sua qualidade como combustível. Foi analisada a palha em seus três componentes: folhas verdes, folhas secas e ponteiros e mostrou que seus componentes apresentam diferenças importantes em umidade, teor de álcalis e outras características, mesmo sendo semelhantes na composição básica de celulose, hemicelulose e lignina, fatores como a variedade de cana, idade, número de cortes, e do uso ou não de vinhoto na fertirrigação e do campo exercem influência importante nas características. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias de Composição Imediata e poder calorífico superior da biomassa da cana-de-açúcar

Material	Composição Imediata, (% m/m)				Poder Calorífico Superior* MJ/kg
	Cinza*	Voláteis *	Carbono Fixo*	Teor de Umidade	
Folhas secas	3,3	85,8	10,8	11,3	17,36
Folhas verdes	3,2	85,2	11,7	66,7	17,38
Ponteiros	4,3	84,1	11,6	82,5	16,27

(Fonte: www.ppeufrj.br/ppe/production/tesis/vcneto.pdf.)

* base seca

A disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar pode chegar a $900 \text{ kg}_{\text{Biomassa}}/\text{ton}_{\text{Cana}}$ se toda a palha e pontas for recuperada do campo. A quantidade de bagaço não varia muito e foi assumido o valor de $270 \text{ kg}_{\text{Bagaço}}/\text{ton}_{\text{Cana}}$. A capacidade de recuperação das palhas e pontas no campo foi estimada em 30 % do total, resultado em um total de biomassa disponível como insumo energético de $425 \text{ kg}_{\text{Biomassa}}/\text{ton}_{\text{Cana}}$. Todos os valores consideram a biomassa com 50 % de umidade e seu poder calorífico inferior é de 8,75 MJ/kg (NETO, 2001).

2-2-3 Madeira

Dentre os materiais de origem biológica, a madeira ilustrada na figura 11 é sem dúvida o mais conhecido e utilizado, o lenho de uma árvore contém grande quantidade de substâncias que são utilizadas como matérias primas em quase todos os campos da tecnologia.



Figura 11 – Madeiras após corte

(Fonte:<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/biomassa.html>)

Durante os períodos pré-históricos e históricos, a madeira não foi somente utilizada como material de construção, mas progressivamente também como importante matéria-prima química para a produção de carvão (usado na fusão de ferro), alcatrão e piche (utilizados para preservação e selamento de cascos de embarcações), já atualmente a madeira é muito utilizada na produção de papel e na produção de energia para alguns setores industriais. Diante desses fatos, o conhecimento aprofundado da madeira torna-se indispensável para sua utilização racional e efetiva nas necessidades da sociedade humana.

Como descrito acima a madeira é utilizada para vários fins energéticos é uma prática das mais antigas da humanidade tem novamente despertado o interesse de

técnicos e pesquisadores. Esse fato vem em decorrência principalmente da crise energética que vem assolando mundo, e a madeira tem sido considerada como um recurso em potencial para o atendimento de uma faixa bastante ampla das necessidades energéticas futuras.

Quando a madeira é queimada diretamente num processo de combustão, deve-se levar em consideração algumas propriedades físicas e químicas da mesma, mas fazendo uma associação de suas propriedades combustíveis. Nesse sentido é importante destacar a composição química elementar, o poder calorífico, o teor de umidade e a densidade (BRITO et al., 1979).

Em relação à composição química elementar da madeira, pode-se dizer que não há diferenças consideráveis, em relação às diferentes espécies existentes. Observe na tabela 3 a composição elementar da madeira.

Tabela 3 – Composição elementar da madeira

Elemento	%
C	50,2
H	6,1
N	0,2
O	43,4
Cinzas	0,2

(Fonte: www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf)

Além destes elementos acima, encontram-se pequenas quantidades de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e há também uma quantidade mensurável de enxofre, não causando poluição do ar com compostos sulfurosos, ao contrário da maioria dos carvões minerais e óleos pesados (BRITO et al., 1979).

Uma das mais importantes propriedades de um combustível é o seu poder calorífico, e o mesmo é obtido pela queima de uma quantidade conhecida de combustível, medindo-se o calor libertado. No caso de madeira podem-se encontrar valores desde 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg (BRITO et al., 1979).

Considerando-se um valor médio de 4.200 kcal/kg para o poder calorífico da madeira, o mesmo equivale a cerca de 0,61 e 0,47 vezes ao poder calorífico do carvão mineral e óleo cru respectivamente, outra característica importante de um combustível, especialmente no caso da madeira é o teor de umidade (BRITO et al., 1979).

O teor de umidade da madeira torna-se importante por duas razões básicas. A primeira é que ele varia dentro de faixa ampla de valores em função de espécies, clima, armazenamento, etc., tornando o controle do processo de combustão mais difícil. A segunda razão é que a água tem um poder calorífico negativo, isto é, necessita de calor para evaporá-la. Na média, madeira recém cortada apresenta teor de umidade variando entre 45 e 50% e madeira cortada e seca ao ar por 6 meses ou 1 ano abrigada das intempéries apresentam teor de umidade variando entre 15 e 25%. A densidade da madeira é também um fator importante a ser analisado. De um modo geral, a densidade de madeira está correlacionada com seu valor combustível (BRITO et al., 1979).

Como na maioria dos países em desenvolvimento, a lenha é um dos combustíveis mais utilizados para satisfazer as necessidades domésticas de energia. De um modo geral, podem ser citados como principais determinantes do nível de consumo de lenha a disponibilidade de florestas com livre acesso para o consumidor, e a facilidade de substituição por outro combustível de maior eficiência. Esse último fator nem sempre torna-se possível, portanto a substituição, em geral pelo fogão à gás, além de depender da existência de abastecimento regular, representa para as famílias de mais baixa renda uma despesa relativamente grande.

Já industrialmente os maiores consumidores de madeira são os produtores de minerais não metálicos, onde se incluem as olarias e cerâmicas, e as de produtos alimentares, onde se acreditam serem as padarias as principais responsáveis pelo consumo.

2-2-4 Casca do Cupuaçuzeiro

Entre os produtos agrícolas do Amazonas, o cupuaçu que está sendo ilustrado na figura 12, se destaca pela diversidade de utilização e pelas características organolépticas de sua polpa, apresentando um grande potencial na indústria de alimentos na região (SANTOS et al.2004).

Pertencente à família Sterculiaceae e recebe os seguintes nomes comuns: copoasú, cação blanco, cupuaçu, pupu, cupu e pupuaçu (SANTOS et al.2004).



Figura 12 – Fruta do cupuaçu (Fonte: www.fundaj.gov.br/docs/iesam/mhn/cupuacu.jpg)

O cupuaçuzeiro é uma espécie arbórea, nativa da Amazônia Oriental, que se encontra distribuída entre a região sudoeste do estado do Pará e a pré-amazônia do estado do Maranhão, Brasil. A distribuição particularmente nas regiões do rio Ipapecuru médio, rio Tocantins baixo, rio Xingu baixo pupuaçu (SANTOS et al.2004).

É uma cultura de significativa importância econômica deixando de ser fruteira de fundo de quintal e ganhando status nos grandes centros urbanos. A polpa é acida, de cor amarela, branca, ou creme, de sabor agradável, sendo consumida, principalmente na forma de suco, picolé, creme, iogurte doce e outras iguarias. As sementes podem ser aproveitadas na fabricação de chocolate em pó e em tablete, são utilizadas também pela indústria de cosméticos na fabricação de cremes para pele (SANTOS et al.2004).

Até o início da década de 80, a cultura do cupuaçu era para comercialização local para bancas e feiras. Essa produção começa a crescer consideravelmente a partir da década de 90, com uma área plantada com cupuaçu no Estado do Amazonas de 331 há em 1991 para 54.235 ha em 1997. Somente de 1996 a 1997 houve um incremento de 84 % na área plantada (SANTOS et al.2004).

A quantidade de casca gerado em uma área de 1 ha varia de acordo com o peso do fruto, que pode variar de 0,5 a 4 Kg, cerca de 2,8 a 22 t de casca de cupuaçu (SANTOS et al.2004).

A casca do fruto do cupuaçuzeiro é um resíduo de biomassa agrícola e alguns produtores a utilizam para fabricação de adubo orgânico, mas na maioria das vezes são aglomerados em um lugar perto da área de processamento dos frutos, contribuindo para a proliferação de pragas e doenças que incidem sob a cultura do cupuaçu.

A casca do cupuaçu passa pelo processo de briquetagem antes de ser queimado para geração de energia.

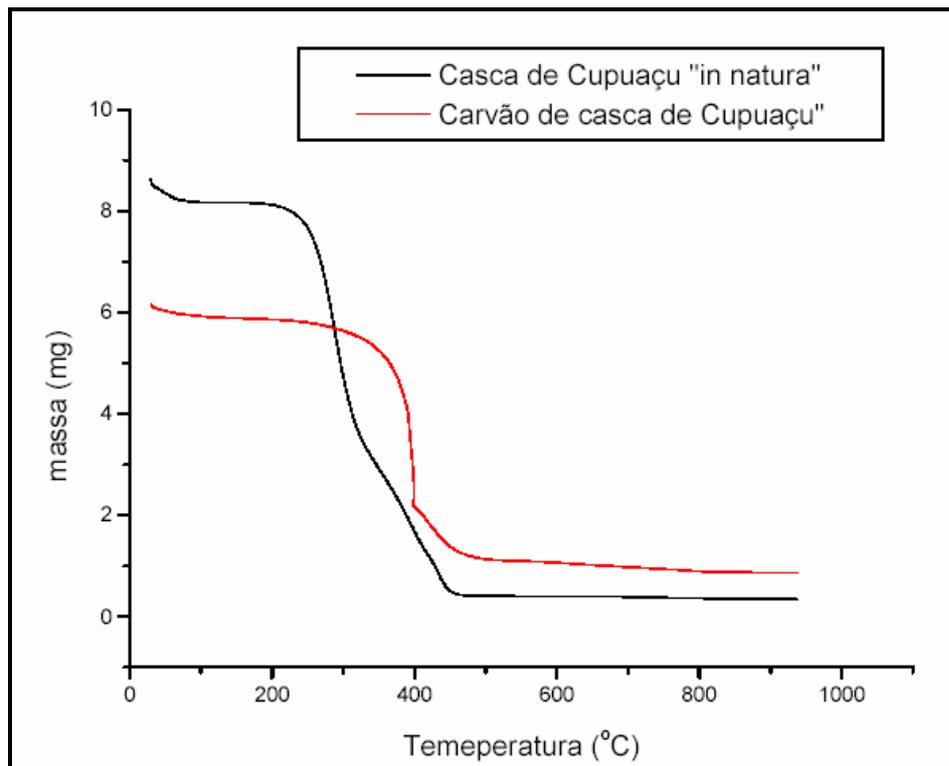
A briquetagem consiste no aproveitamento e compactação de resíduos vegetais. Essa compactação é realizada em altas temperaturas e pressões provocando assim a elevação da temperatura do processo da ordem de 100 °C. E com esse aumento da temperatura, há a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira, e para que a aglomeração tenha sucesso, é necessário uma quantidade de água, compreendida de 8% a 15% e que o tamanho da partícula esteja entre 5 e 10 mm (SANTOS et al., 2004).

Antes do processo de briquetagem foram feitos alguns estudos, onde foram avaliados os gráficos 1 e 2, e foi constatado que a perda de massa em função da temperatura é reportada no eixo das ordenadas e que a amplitude da perda de massa difere da casca "*in natura*" e do carvão da casca". O teor de umidade (cerca de 4,68% da massa inicial da amostra) é praticamente igual nos dois casos. Vale enfatizar que o teor de umidade é um fator limitante para a combustão, isso devido ao efeito da água sobre o poder calorífico. A reação de combustão é altamente exotérmica e a evaporação da água é altamente endotérmica (SANTOS et al., 2004).

Enquanto que três zonas de perda de massa são observadas no caso da casca "*in natura*", no caso do carvão de cupuaçu não se observou a formação de pico entre 200 °C e 300 °C, evidenciando que a hemi celulose e a celulose presente no material já foram degradados durante o processo de produção do carvão de cupuaçu. A hemicelulose e a celulose apresentaram menor (17,3 MJ/Kg) poder calorífico que a lignina (26,7 MJ/kg).

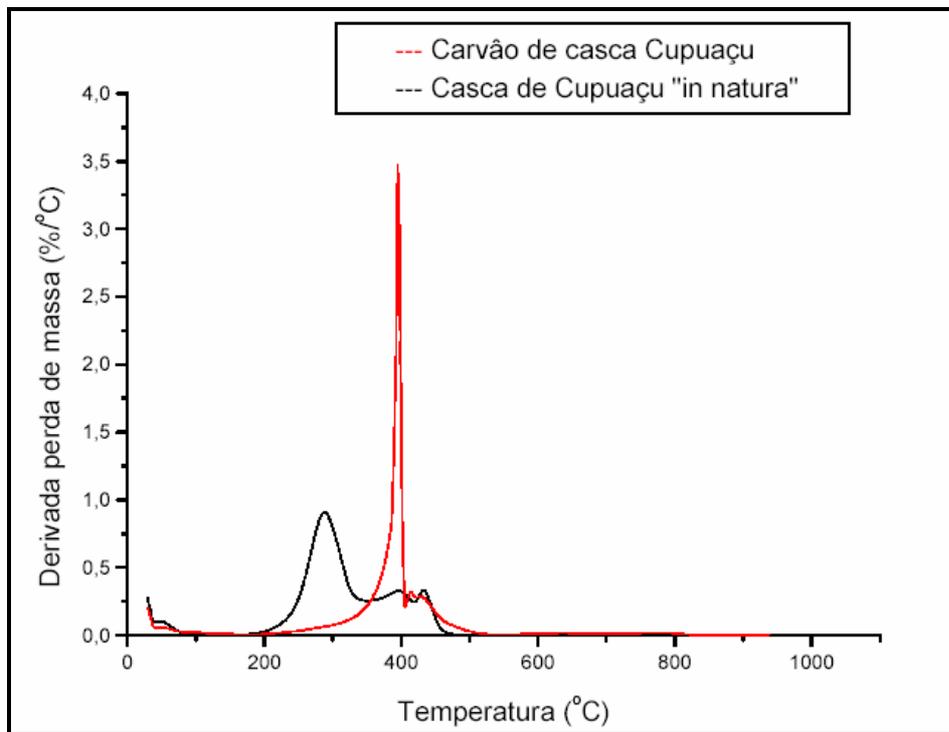
Já o carvão da casca além de apresentar maior poder calorífico, apresenta-se como insumo energético, que devido à ausência de celulose e hemicelulose, sua combustão não produz alcatrões (SANTOS et al., 2004).

Gráfico 1– Perda de massa em função da Temperatura



(Fonte: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2090.pdf>)

Gráfico 2 – Derivada da perda de massa em função da temperatura



(Fonte: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2090.pdf>)

A composição química elementar e o poder calorífico da casca *in natura* e do carvão de cupuaçu esta representado logo abaixo, nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Resultados da análise elementar da casca de Cupuaçu

Amostra	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Nitrogênio (%)
Casca <i>in natura</i>	45,1	5,82	0,84

(Fonte: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2090.pdf>)

Tabela 5 – Poder calorífico da casca de cupuaçu

Amostra	Poder calorífico (MJ/Kg)
<i>Casca in natura</i>	18,08 MJ/Kg

(Fonte: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2090.pdf>)

2-2-5 Casca de Arroz

A casca de arroz (figura 13) apresenta um bom potencial para conversão de energia. Entretanto, devido a sua baixa densidade e granulometria, também apresenta incômodos. O custo de transporte é um deles. O grande volume a ser transportado para o potencial de energia comparativamente baixo torna inviável a utilização desse subproduto em regiões distantes dos centros produtores. Existem ainda problemas de queima, resolvidos parcialmente pela técnica de queima em leito fluidizado.



Figura 13 – Casca de arroz

(Fonte: www.nutricorp.com.br/.../nutrienergiaproduto.jpg)

Observe na tabela 6 algumas propriedades caloríficas de alguns materiais:

Tabela 6 – Poder calorífico inferior de alguns sólidos

Combústivel	PCI (Kcal/Kg)
Lenha 20% umidade	3692
Lenha 30 % umidade	3158
Resíduos de Serraria	2000
Petróleo	11500
Casca de Arroz	3200

(Fonte: http://143.54.70.111/diplomacao/2002_guilherme_schmidt.pdf)

A composição química elementar da casca *in natura*, esta representado logo abaixo, na tabela 7.

Tabela 7 – Análise elementar da cascas de arroz *in natura*

Casca de arroz	Elemento (% em peso)				
	H	C	N	O	S
<i>In natura</i>	4,29	32,37	nd	43,28	nd

nd: Não determinado pelo equipamento (<0.002% em peso)

(Fonte: http://www.drapn.min-agricultura.pt/draedm/centrodocumentacao/revistapdf/06.Biomassa_AldaBr%C3%A1s.pdf)

2-2-6 Biogás

O Biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos, quando a matéria orgânica é fermentada dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez – digestão anaeróbia (sem presença de oxigênio). O metano, principal componente do biogás, é inodoro e incolor, mas os outros gases presentes na fermentação conferem-lhe um ligeiro odor desagradável. Os resíduos resultantes do processo de fermentação (tabela 8) da matéria orgânica num biodigestor podem ser utilizados como fertilizantes agrícolas.

Nesse processo a matéria orgânica é colocada num digestor fechado (figura 14), aparelho que possibilita a sua fermentação anaeróbica, conservada a uma temperatura de cerca de 30-40 °C, de preferência pelo próprio calor gerado, fermentando num período de algumas semanas. O processo nunca é totalmente anaeróbico e, como tal, entre 20% a 40% (em volume) do gás produzido é CO₂. Apesar disso é um combustível cuja utilização é interessante do ponto de vista energético (COSTA, 2005).

Tabela 8 – O biogás apresenta a seguinte composição química:

Componente	Composições em % volúmica
CH ₄	55-80
CO ₂	20-40
H ₂	1-3
N ₂	0.5-2.5
O ₂	0.1-1
H ₂ S	0.1-0.5
NH ₃	0.1-0.5
CO	0-0.1

(Fonte: http://hidrox.ist.utl.pt/doc_fct/energias_renovaveis_biomassa.pdf)

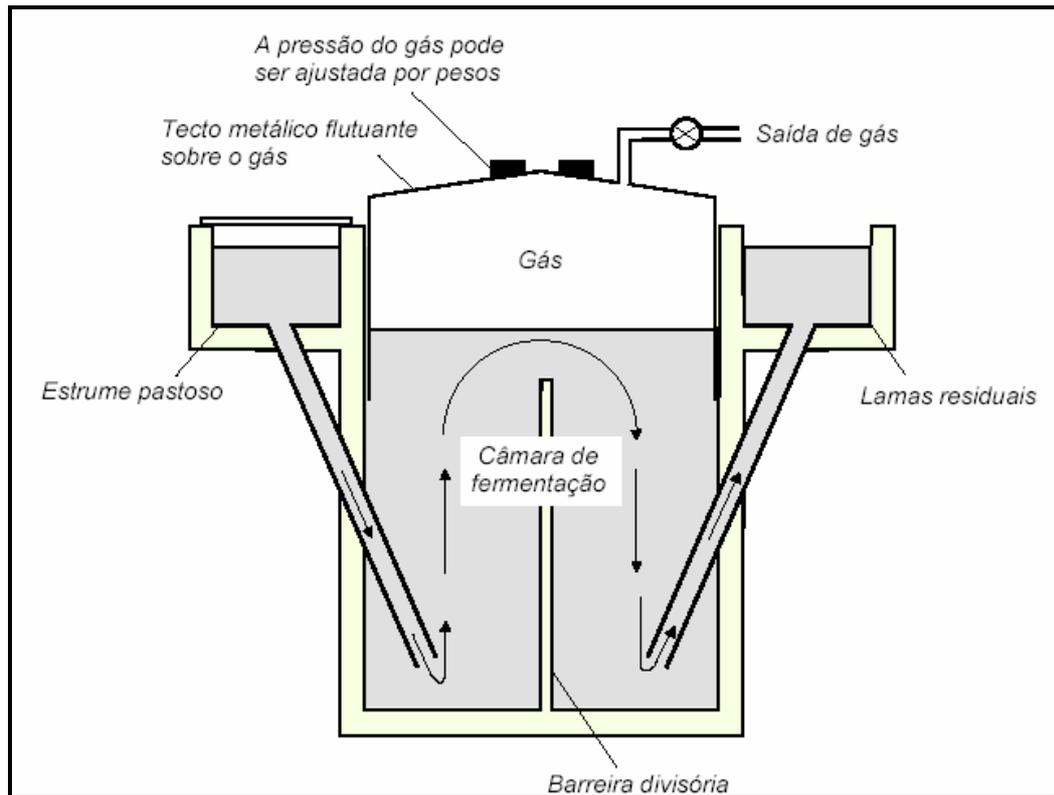


Figura 14 – Digestor de Biogás

(Fonte: http://hidrox.ist.utl.pt/doc_fct/energias_renovaveis_biomassa.pdf)

Para as etapas de produção do biogás há parâmetros que Influenciam o Processo de Digestão:

Anaerobiose: A ausência de oxigênio é uma condição não necessária para o normal funcionamento das duas primeiras etapas do processo da digestão anaeróbia, mas na fase metanogénea, o metabolismo das bactérias é inibido na presença de oxigênio atmosférico.

pH: O intervalo mais favorável ao metabolismo das bactérias metanogéneas situa-se entre 6.8 a 7.5.

Temperatura: O processo de fermentação se desenvolve num intervalo bastante amplo de temperatura entre 4 a 70 °C. Com essa faixa de trabalho há abrangência da atividade de três estirpes de bactérias metanogéneas, caracterizadas por comportamentos bastante diferenciados quanto à capacidade de degradação da matéria orgânica, produção de biogás, estabilidade, etc (COSTA, 2005).

A maior parte dos sistemas de biogás produzem a energia necessária para as atividades de explorações agropecuárias onde se encontram, sendo freqüente

produções de biogás superiores às necessidades. Quando se opta pela utilização do biogás em grupos de co-geração, parte da energia térmica e elétrica produzida destina-se a ser usada no processo, existindo, contudo um excedente que pode, e deve ser valorizado. A receita associada a esta valorização pode ser bastante significativa – 10 a 40% do valor total das receitas. Uma outra valorização energética é a utilização agrícola do efluente depurado como fertilizante orgânico (COSTA, 2005).

As vantagens na produção de biogás são:

- Representa uma fonte de energia renovável (calor, eletricidade);
- Eficiente para tratar os efluentes pecuários, melhorar o padrão sanitário;
- Redução das emissões de gases, responsáveis pelo efeito estufa;
- Redução da fatura energética/melhoria da competitividade.

2-3 BIOMASSA SUAS VANTAGENS E DESVANTAGENS

2-3-1 Vantagens

- Baixo custo de aquisição;
- As cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis;
- Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- Menor risco ambiental;
- Recurso renovável;
- Emissões não contribuem para o efeito estufa.
- Ser uma fonte de energia, descentralizadora de renda – qualquer pessoa dona de um pouco de terra pode plantar vegetais que servem como fonte de biomassa;
- Diminuir o lixo industrial. Pequenos produtores que utilizariam restos de produção, como fonte de biomassa, para geração própria de energia. Por exemplo, madeireiras que passariam a utilizar resíduos (serragem e restos de madeira), que antes virariam lixo;
- Ter baixo custo de implantação e manutenção;
- Os resíduos emitidos pela sua queima não interferem no efeito estufa.

2-3-2 Desvantagens:

- Menor poder calorífico;
- Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado;
- Dificuldades no estoque e armazenamento.

2-4 BIOCOMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS DERIVADOS DE BIOMASSA

2-4-1 O que é Biocombustível?

Os biocombustíveis são fontes de energias renováveis, derivados de produtos agrícolas como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Em alguns casos, os biocombustíveis podem ser usados tanto isoladamente, como adicionados aos combustíveis convencionais. Como exemplos, podemos citar o biodiesel, o etanol, o metanol, o metano e o carvão vegetal.

2-4-2 Álcool

Os alcoóis são produtos da conversão de biomassa que têm recebido considerável atenção nos últimos anos como substitutos para líquidos derivados de petróleo. A fermentação de materiais vegetais para a conversão de seus açúcares em álcool ocorre por mais 4000 anos, pois os egípcios faziam cerveja a partir de grãos e uvas. Mas de 100 anos atrás, Louis Pasteur identificou as leveduras como catalisadoras do processo de fermentação (ROGER et. al. 2003).

Segundo ROGER et.al. (2003), o álcool metílico e o etílico são os mais conhecidos e utilizados na atualidade, e possuem as seguintes propriedades:

O metanol ou álcool metílico ou álcool de madeira – é um líquido incolor, com ponto de ebulição de 65 °C e apresenta a seguinte fórmula $\text{CH}_3 - \text{OH}$. Pode ser produzido a partir de qualquer produto que contenha carbono, mas era produzido nos Estados Unidos como um subproduto da destilação da madeira (ROGER et. al. 2003).

O metanol é um combustível superior para motores de combustão interna e é utilizado hoje em dia como combustível para carros de corrida, ou seja, misturado a gasolina pode ser usado em qualquer veículo sem maiores modificações (ROGER et. al. 2003).

Já o etanol ou álcool etílico ilustrado na figura 15 é um líquido transparente com ponto de ebulição de 78 °C e com a seguinte fórmula química $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$. O etanol pode ser produzido de várias matérias-primas, porém as mais comuns são a cana-de-açúcar, o milho e a madeira (ROGER et. al. 2003).



Álcool combustível: mais vantagens sobre a gasolina.

Figura 15 – Álcool Combustível
(Fonte: www.fenasucro.com.br/.../imgs/combustivel_g.jpg)

No Brasil o etanol é obtido pelo processo fermentativo da cana-de-açúcar, ou seja, isso é algo de sucesso tecnológico para o país. A indústria da cana mantém o maior sistema de energia comercial de biomassa no mundo através da produção de etanol e do uso quase total de bagaço para geração de eletricidade.

As necessidades de desenvolvimento tecnológico estão bem mapeadas pelo setor e compreendem as seguintes áreas: melhoramento genético da cana, produção (agronomia e engenharia agrícola), processamento industrial e ampliação do mercado de usos de etanol no país.

2-4-3 Biodiesel

A idéia de aproveitar os óleos vegetais como matéria prima para combustíveis não é nova, já que as primeiras experiências com motores de combustão por compressão foram conduzidas com óleo de amendoim. No ano 1900, o próprio Rudolph Diesel apresentou um protótipo de motor na Exposição Universal de Paris, que foi acionado com óleo de amendoim, cultura que era muito difundida nas colônias francesas na África. No entanto, a abundância da oferta de petróleo e o seu preço acessível, determinaram que, nos anos seguintes, os derivados do petróleo fossem os combustíveis preferidos, reservando os óleos vegetais para outros usos. Por outra parte, os óleos vegetais apresentavam dificuldades para se obter uma boa combustão, atribuídas a sua elevada viscosidade, a que impedia uma adequada injeção nos motores. O combustível de origem vegetal deixava depósitos de carbono nos cilindros e nos injetores, requerendo uma manutenção intensiva. A pesquisa realizada para resolver esses problemas conduziu à descoberta da transesterificação (figura 16), que é a quebra da molécula do óleo, com a separação da glicerina e a recombinação dos ácidos graxos com álcool. Este tratamento permitiu superar as dificuldades com a combustão. Um cientista belga, G. Chavanne, patenteou o processo de produção em 1937 (KNOTHE, 2006).

Do ponto de vista químico, o produto da reação do óleo com o álcool é um éster monoalquílico do óleo vegetal, cuja molécula apresenta muita semelhança com as moléculas dos derivados do petróleo. O rendimento térmico do novo combustível

é de 95% em relação ao do diesel de petróleo, ou seja, que do ponto de vista prático, não se percebe qualquer diferença. Os primeiros a utilizar a feliz denominação de biodiesel para esses combustíveis foram pesquisadores chineses, em 1988 (KNOTHE, 2006).

Na década de 30, o governo francês incentivava as experiências com o óleo de amendoim visando a conquistar a independência energética (KNOTHE, 2006).

Durante a II Guerra Mundial, o combustível de origem vegetal foi utilizado extensamente em vários países, incluindo a China, a Índia e, obviamente, a Bélgica. Em 1941 e 1942, havia uma linha de ônibus entre Bruxelas e Louvain, que utilizava combustível obtido a partir do óleo de palma (KNOTHE, 2006).

A II Guerra Mundial cortou as linhas de abastecimento e causou aguda escassez de combustíveis, estimulando a busca de sucedâneos. Porém, o desenvolvimento dos combustíveis de origem vegetal foi praticamente abandonado quando o fornecimento de petróleo foi restabelecido: no final da Guerra: a abundância de petróleo importado, especialmente do Oriente Médio, por preços muito acessíveis, desestimulava a utilização de combustíveis alternativos.

Sabe-se atualmente, que os motores a diesel podem ser adaptados para utilizar, como combustível, os óleos vegetais *in natura* (sistema *elsbett*). No entanto, o método belga, de transformação dos óleos, parece mais adequado para resolver o problema do transporte, já que não requer qualquer modificação nos motores.

Os maiores componentes de óleos vegetais e gordura animal são os triacilgliceróis (TAG: muitas vezes chamados triglicerídeos). Quimicamente, os TAG são ésteres de ácidos graxos (AG) com glicerol (1,2,3-propanotriol; glicerol é muitas vezes chamado de glicerina). Os TAG (triglicerídeos) de óleos vegetais e gordura animais contêm diferentes tipos de AG (ácidos graxos), desse modo os diferentes tipos de ácidos graxos (AG) podem estar ligados à cadeia de glicerol, pois os diferentes AG que estão contidos nos TAG revelam o perfil do AG, ou seja, a composição dos mesmos, assim como cada AG apresenta propriedades químicas particulares, o perfil de AG é provavelmente o parâmetro de maior influência sobre as propriedades dos óleos vegetais e gorduras animais de onde se originam.

Como foi dito acima o biodiesel é comumente produzido por meio de uma reação química denominada transesterificação (figura 16). No caso específico para a reação abaixo (Fig. 16), os triacilgliceróis (TAG) de origem animal/vegetal, reagem com o metanol, ou outro álcool, na presença de um catalisador (NaOH ou KOH),

produzindo glicerol (subproduto) e o éster metílico de ácido graxo (biodiesel). A reação de transesterificação pode ser catalisada por ácido ou base.

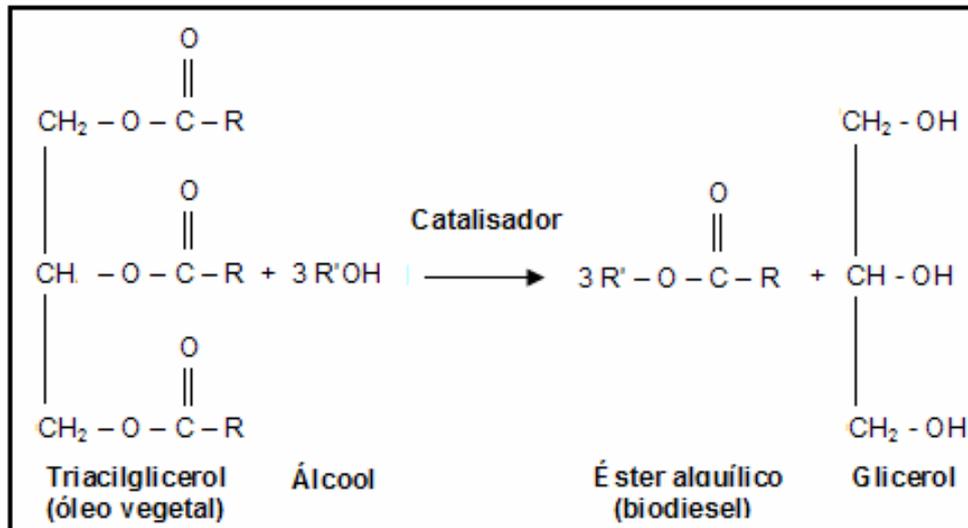


Figura 16 – Reação de transesterificação de um óleo vegetal o metanol
(Fonte: Manual de biodiesel, 2006)

Como observado na figura 17, há varias matérias-primas para a produção de biodiesel, onde podemos citar as de origem vegetal e animal:

Vegetais - óleos de soja, caroço de algodão, palma, amendoim, colza/canola, girassol, açafrão, coco, Algodão, babaçu, buriti, dendê, gergelim, Jojoba, linhaça, milho, mamona, nabo forrageiro, pequi, pinhão-manso, tucumã, etc. Após extração dos óleos sobra o resíduo, ou seja, o bagaço ou casca dos vegetais (biomassa) que após passar por alguns processos de conversão, podendo ser utilizados como grande fonte de energia.

Animal – gorduras de origem animal (geralmente sebo) banha de porco, bem como óleos de descarte (usados em frituras);

O fato de óleos vegetais, gorduras animais e seus derivados alquil ésteres serem combustíveis adequados para motores diesel demonstram haver alguma similaridade entre o diesel de petróleo e algum de seus componentes, e a propriedade que melhor demonstra isso é o número de cetano, além do calor de combustão, o ponto de fluidez, a viscosidade (cinemática), a estabilidade à oxidação e a lubricidade.



Figura 17 – Biodiesel e algumas matérias-primas para sua produção
(Fonte: facesionline.wordpress.com)

2-4-4 Carvão Vegetal

O carvão vegetal mostrado na figura 18 é obtido pela queima da madeira em fornos especiais, feitos de alvenaria, que atingem uma temperatura média de 500°C. Ao contrário do que aconteceu nos países industrializados, no Brasil, o uso industrial do carvão vegetal continua sendo largamente praticado. O Brasil é o maior produtor mundial desse insumo energético, atendendo cerca de um quarto de toda energia consumida nos altos fornos brasileiros. No setor industrial (quase 85% do consumo), o ferro-gusa, aço e ferro-liga são os principais consumidores do carvão de lenha, que funciona como redutor (coque vegetal) e energético ao mesmo tempo. O setor residencial consome cerca de 9% seguido pelo setor comercial como as churrascarias, pizzarias e padarias com 1,5%. É usado, também, nas locomotivas a vapor ainda existentes em alguns lugares do Brasil, 30% desse carvão é obtido a partir de reflorestamento e 70% vêm do desmatamento de grandes áreas do cerrado ao norte de Minas Gerais, sul da Bahia, na região de Carajás no Pará e no Maranhão (CERPCH, 2008).

É importante notar que o rendimento em massa do carvão vegetal em relação à lenha seca enfornada é de aproximadamente 25% nos fornos de alvenaria.



Figura 18 – Carvão Vegetal (Fonte: www.costaricanet.com.br)

2-5 AS FONTES E AS TRANSFORMAÇÕES ENERGÉTICAS

Costuma-se distinguir as fontes primárias de energia em duas categorias: as renováveis e as não renováveis - pode-se também dividir conforme a fonte de origem, em solar e não solar. Aquele critério baseia-se na durabilidade da matéria que lhes dá origem, considerado um horizonte temporal específico. Podemos observar as principais fontes na tabela 9.

Tabela 9 – Principais fontes de energia

Renováveis	Solares	Várias formas: Biomassa; hídrica; eólica; solar direta; solar fotovoltaica, calor de massas de água (OTEC); ondas marítimas.
	Não solares	Mecânica: marés Calor: geotérmica Processos nucleares por fusão
Não renováveis	Solares	Gasosa: gás natural
		Líquida: petróleo cru
		Sólida: petróleo pesado; areia betuminosa; xisto; série lignocelulósica (turfa, linhito, hulha ou carvão e antracito).
	Não solares	Combustíveis nucleares

(Fonte: <http://www.ufsm.br/cenergia/ixsact.pdf>)

Tais fontes de energia são utilizadas cotidianamente, ou seja, para iluminação, transporte, conforto térmico, comunicação, força motriz e outros, até na agregação de energia a materiais em seu processamento industrial. Todos, porém, exigem que a energia bruta presente, passe por transformações que a disponibilizem sob forma de energia útil. Esse processo segue uma sistemática do tipo (Hoffmann, www.ufsm.br/cenergia/ixsact.pdf): Energia primária → Energia secundária → Energia final → Energia útil.

Nesse processo a energia em seu estágio primário, tal como ocorre na natureza – petróleo, urânio, floresta, queda d'água, etc., pode ser aferida quantitativamente em termos de fluxos e de estoques. Este último mais aplicado às fontes não renováveis, enquanto que as renováveis, na maioria dependentes do sol, podem ser medidas em termos de fluxos, uma vez que, após serem consumidas, são repostas pela interação do sol ou da fonte de origem com a matéria envolvida. Chamam-se de energéticos, às formas secundárias de energia, tais como: eletricidade, gasolina, lenha, óleo diesel, carvão extraído, óleo combustível, gás e querosene e que resultam da transformação parcial do recurso anterior, por meio físico, químico ou bioquímico. A forma como se apresenta a energia final depende

do tipo de energético que lhe deu origem – um tanque de óleo, um botijão de gás, uma linha de distribuição ou uma tomada de força - não passando mais por transformações, apenas modificações técnicas e comerciais. E a forma útil, que corresponde à energia efetivamente utilizada, aparece geralmente como calor, frio, força motriz e iluminação, e combinações destes. Há muitas perdas em todos os passos pelos quais a energia passa desde a forma primária até a útil, mas pelo princípio da conservação de energia – primeira lei termodinâmica, o montante é conservado, ou seja, a energia é indestrutível! Em cada transformação se perde um pouco da disponibilidade para uso útil e, finalmente, quando se atinge a forma de calor cedido ao ambiente, a perda de disponibilidade foi completa. Esta é a consequência do princípio de qualidade da energia – segunda lei termodinâmica ou da degradação da energia. Pelas avaliações do *Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie* (IEPE), tais perdas são, em média, de 63 % da energia primária, sendo que 54 % destas ocorrem entre a fase final e útil, ou seja, quando a energia é direcionada para realização de determinada tarefa, como dito acima. Essas relações adquirem sentido quando são analisadas no longo prazo: Putman em 1950 [citado por Martin, op. cit.] estimou que o rendimento global de transformação (relação *input/output*) passara de 10 %, em 1860, a 22 % e que poderia atingir 40 % no século XXI. O fato também indica claramente que a racionalidade ou não do uso da energia depende sobretudo do controle pessoal que o consumidor possa exercer (HOFFMANN, 2008).

2-6 O USO DA ENERGIA E SUA IMPORTÂNCIA SOCIAL

É oportuno observar que a configuração dos processos de transformação, desde a energia primária até a forma final, depende do modelo de sociedade vigente e as possíveis modificações fogem ao controle do indivíduo. Mudanças no modelo só ocorrem mediante uma modificação do estatus social, ou seja, com uma nova proposta social. Ao contrário, o passo de energia final para útil é como dito no item anterior, de controle individual, principalmente pelo fato de serem desembolsadas diretamente pelo indivíduo.

Tabela 10 – Atuais necessidades energéticas

Necessidade	Característica	Setor econômico	Processo ou uso	
Térmica	Alta temperatura	Indústria	Fundição, cozimento, combustão, soldagem, siderurgia, etc.	
	Média temperatura	Indústria	Esterilização, secagem, cozimento, galvanização, desidratação, etc.	
		Serviços e terciário	Cozimento, secagem, atividades de lavanderia, etc.	
	Baixa	Indústria e agricultura	Secagem, fermentação, geração de vapor, calefação, etc.	
Serviços e terciário		Calefação, arrefecimento, resfriamento, climatização, etc.		
Matérias-primas	Coadjuvante de fabricação	Indústria pesada	Eletrólise, eletro-metalurgia, redução do ferro, etc.	
	Química de base	Indústria química	Craqueamento, reforma, destilação, etc.	
Força motriz	Tração		Móvel	Rodo, ferro, hidro e aerovia.
Iluminação	Natural e artificial	Indústria, serviços, terciário e agricultura	Fixo	Motores elétricos, eletromagnéticos, etc.
			Público e privado	Iluminação

(Fonte: <http://www.ufsm.br/cenergia/ixsact.pdf>)

Modernamente procura-se orientar o uso da energia em função do consumo final, objetivando a minimização das perdas. Assim, quando a necessidade é calor, deve-se empregar fontes primárias que liberam energia nesta forma; quando necessitar-se de energia elétrica ou mecânica, recorre-se a fontes primárias que estejam na forma mecânica. Entretanto isso nem sempre é possível ou acontece, especialmente devido serem maioria as formas primárias que liberam energia exclusivamente na forma de calor. A tabela 10 apresenta o quadro resumo das necessidades energéticas demandadas pela sociedade atual. A ninguém deve passar despercebido que os montantes de energia que acompanham os materiais,

produtos e serviços gerados e consumidos diariamente. O atual modelo civilizatório só foi atingido, juntamente com todo progresso científico e tecnológico, mediante o emprego de fontes de energia cada vez mais intensivas e com densidade energética crescente, com crescentes potências disponíveis, isto é, energia por unidade de tempo. A evolução do consumo de energia pelo homem passou dos 2 200 kcal, exclusivos da alimentação na época pré-histórica, para cerca de 1 000 000 de kcal ao dia, isto para satisfazer as necessidades do homem tecnológico (HOFFMANN, 2008). Nesse caminho em busca do conforto o homem das cavernas, que contava apenas com a energia de seus músculos e um pouco de fogo para aquecer-se e espantar as feras, progrediu. Inicialmente dispondo da força dos animais para tração mecânica, o que aumentou em cerca de quatro vezes a potência disponível, possibilitando a passagem do estado nômade para o sedentário, com o surgimento da agricultura e, com ela, as grandes cidades (HOFFMANN, 2008). O atual modelo social está baseado num alto consumo de energia e, portanto, de geração de entropia. É tão dependente do aporte de energéticos que os colapsos se tornam evidentes e inevitáveis. Tudo o que se pode fazer a curto prazo é minimizar os efeitos colaterais dessa transformação (HOFFMANN, 2008).

2-7 APROVEITAMENTO DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

A biomassa responde por cerca de 15% do uso de energia mundial, ou 55 exajoule (1EJ=10¹⁸J) por ano, subindo para 38% quando se analisam apenas os países em desenvolvimento. Isso quer dizer que quase metade da população mundial se encontra virtualmente na dependência da biomassa para preparar os alimentos, aquecer-se e iluminar suas moradias (HOFFMANN, 2008).

Tabela 11 – Uso energético de biomassa em alguns países 1987

País	Uso de Biomassa (petajoule)	Participação no consumo total de energia (%)
Países desenvolvidos		
Inglaterra	46	<1
Estados Unidos	3482	4
Dinamarca	84	9
Países em desenvolvimento		
Tailândia	206	20
Brasil	1604	25
China	9287	28
Costa Rica	31	32
Zimbabwe	143	40
Índia	8543	56
Indonésia	2655	65
Tanzânia	925	97

(Fonte: <http://www.ufsm.br/cenergia/ixsact.pdf>)

Mas a biomassa não é mais apenas uma fonte energética de subdesenvolvidos e populações rurais. Atualmente está presente em processos industriais e em programas energéticos, como o álcool em automóveis, e está participando e aumentando na medida em que novas tecnologias entram em escala para transformar a natureza da matéria-prima, e/ou alcançarem eficiência para concorrer com tradicionais combustíveis, mormente derivados de petróleo.

A Tabela 11 mostra o uso energético de biomassa em alguns países, base 1987.

Vê-se que, mesmo em países industrializados como EUA e Dinamarca, a biomassa energética ocupa uma importante posição relativa. É possível escrever-se equações que traduzam o balanço de massa e energia para cada um dos compostos constituintes da biomassa, bem como são conhecidos os poderes caloríficos de grande parte das biomassas - note-se que a energia liberada pela

oxidação de um kg de glicose, molécula básica do amido e da celulose, é de aproximadamente 3,2 mil kcal (HOFFMANN, 2008).

No Brasil a produção de energia elétrica da biomassa é estimada em cerca de 3% da energia elétrica total: 10 TWh (1999), sendo 4.1 em co-geração na industrialização de cana, 2.9 na indústria de papel e celulose, e cerca de 3 TWh em diversas unidades utilizando resíduos agrícolas. Há uma clara transição dos usos envolvendo “baixo nível tecnológico”, como o uso da lenha para cozinhar, para processos mais avançados e classificados como “modernos”, que são vetores de transformação da biomassa para energia elétrica e combustíveis (CGEE, 2001).

3 CONCLUSÃO

Lado a lado com a Revolução Industrial surgiu também o petróleo, uma fonte de energia de origem fóssil, que impulsionou a industrialização, fazendo com que toda evolução da época se tornasse dependente da mesma. Entretanto, isso é algo que está ocorrendo até os dias atuais. Diante dessa total dependência energética surgiram alguns questionamentos.

Em primeiro lugar, os recursos fósseis são esgotáveis e tomando-se como base o enorme consumo anual de energia hoje, pode-se dizer que cresce a longo prazo o perigo de crises econômicas através de mais aumentos de preço do petróleo e de tensões políticas que podem acarretar em guerras pela energia.

Em segundo lugar, as emissões resultantes da transformação da energia fóssil levaram a uma crise ecológica mundial, que com o passar do tempo está se tornando cada vez mais grave, ou seja, mesmo que haja mais recursos fósseis, somente a queima das reservas conhecidas atualmente põe em perigo a base existencial humana.

Em terceiro lugar, as reservas dos recursos fósseis concentram-se em poucos lugares da Terra e seu consumo é descentralizado, ou seja, diante desse fato a humanidade fica acorrentada nesse ciclo energético, ainda mais sabendo que essas fontes hoje são indispensáveis para o Universo.

Diante dos fatos relatados acima, pode-se constatar, que um sistema energético baseado em combustíveis fóssil, representa umas das principais vulnerabilidades da civilização moderna, e levando em conta a rápida redução desses combustíveis e a liberação de bilhões de toneladas de gases tóxicos na atmosfera, chega-se a conclusão de que a sociedade foi construída sobre tendências que não podem ser sustentadas por outro século.

Atualmente em virtude de uma crise energética mundial, vem-se discutindo muito a busca de novas fontes energéticas, e que sejam renováveis. A biomassa é uma dessas fontes que hoje está sendo usada em todo o mundo para a produção de energia mais limpa.

Para países subdesenvolvidos a biomassa desempenha um importante papel no setor industrial, pois muitas indústrias produzem sua própria energia e além do mais, muitas ainda estão vendendo o seu excedente. O Brasil é um desses países subdesenvolvidos que está utilizando a biomassa para a co-geração de energia

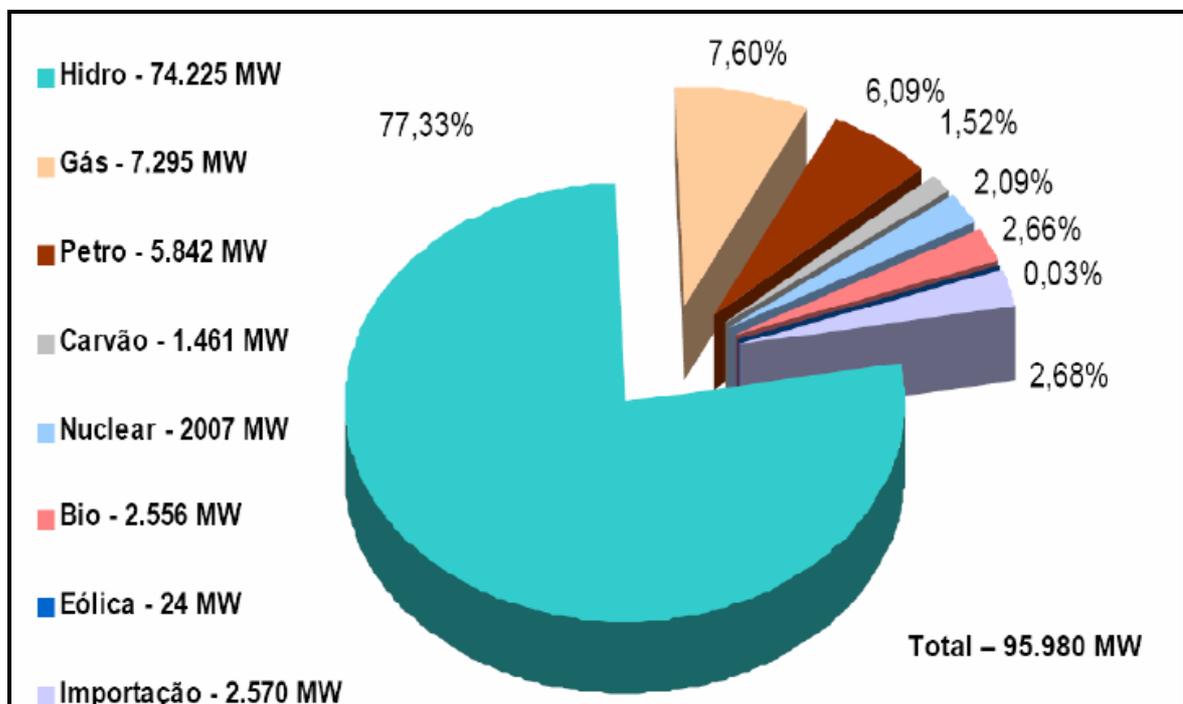
elétrica. A principal matéria orgânica para esse processo é o bagaço de cana-de-açúcar, no entanto, em menor escala temos a lenha, a casca de arroz, o bagaço de cupuaçu e outros, também utilizados para produção de energia.

O setor de energia elétrica no Brasil hoje, está passando por uma crise, e essa fonte renovável de energia veio para minimizar ou até mesmo a um curto prazo, sanar com esse problema.

Observando o gráfico 3 de 2004, pode-se constatar que a hidroelétrica é a maior geradora de energia elétrica no Brasil, ou seja, produz 74.225 MW, enquanto que a biomassa produziu somente 2.556 MW, diante dos resultados mostrados no gráfico nota-se que ainda é muito pequena a participação da biomassa no setor elétrico brasileiro, no entanto, em decorrência da atual crise energética isso está mudando, pois a biomassa está sendo mais utilizada, além do mais a tendência é que a mesma se torne uma das principais fontes energéticas mundiais. Pois, com exceção da lenha, pode-se notar que houve um aumento da taxa de crescimento das fontes renováveis, entre 1987 – 2003, mostrados na tabela 12.

A matriz energética brasileira (eletricidade) apresenta o seguinte cenário:

Gráfico 3 – Matriz energética brasileira (eletricidade), 2004



(Fonte: [http://www.sedec.rn.gov.br/downloads/Bizzo_\(UNICAMP\)_%20Energia_Biomassa_06.06.07.pdf](http://www.sedec.rn.gov.br/downloads/Bizzo_(UNICAMP)_%20Energia_Biomassa_06.06.07.pdf))

Tabela 12 – Taxas de Crescimento de Fontes Renováveis de Energia Primária, Brasil, 1970 -2003.

Fontes de energia renovável	Taxa de crescimento (%)
Energia hidráulica	2,9
Lenha	- 1,08
Produtos da cana-de-açúcar	2,34
Outras renováveis	7,01
Total	1,53

(Fonte: <http://www.iea.sp.gov.br/OUT/publicacoes/pdf/seto3-0505.pdf>)

Diante de tudo que foi relatado nesse trabalho conclui-se que a biomassa é uma fonte renovável de energia que ressurgiu para ficar. E diante do cenário energético brasileiro podemos constatar que esse recurso, pode se tornar um dos principais produtos da futura matriz energética do Brasil, no entanto, isso só será possível devido ao excedente de matéria orgânica presente no país.

O aspecto mais importante é que a utilização da biomassa para produção de energia gera CO₂ e a mesma quantidade gerada deverá ser consumida pela planta durante seu crescimento, desse modo podemos dizer que o balanço global de CO₂ é nulo, seguindo esse princípio podemos observar, que está havendo um controle da emissão de gás carbônico, o que é imprescindível para evitar o efeito estufa, melhorando assim o ar que respiramos e o planeta onde vivemos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLCOOL, combustível: mais vantagens sobre a gasolina. Disponível em: <www.fenasucro.com.br/.../imgs/combustivel_g.jpg> Acesso em: 25 mar. 2008.

BIODIESEL: algumas matérias-primas para sua produção. Disponível em: <facesonline.wordpress.com>. Acesso em: 25 abr. 2008.

BIOMASSA, florestal para fins energéticos. Disponível: <http://www.iar-pole.com/presentationbrazil/Waldir_ibama.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2008.

BIOMASSA, Madeiras após corte. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/biomassa.htmlBiomassa>. Acesso em: 19 mai. 2008.

BIZZO, W.A. Tecnologias da Biomassa para Conversão de Energia. Disponível em:< [http://www.sedec.rn.gov.br/downloads/Bizzo\(UNICAMP\)%20EnergiaBiomassas_06.06.07.pdf](http://www.sedec.rn.gov.br/downloads/Bizzo(UNICAMP)%20EnergiaBiomassas_06.06.07.pdf)>. Acesso em: 13 mai. 2008.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. Disponível em: <www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2008.

CANAVAL, cana e palha sobre o solo. Disponível em <www.ifolha.com.br/imgnot/21-04-07/canavial.gif>. Acesso em: 25 mar. 2008.

CARVÃO, **vegetal**. Disponível em: <www.costaricanet.com.br> Acesso em: 25 mar. 2008.

CASCA, **de arroz**. Disponível em: <[www.nutricorp.com.br/... /nutrienergiaproduto .jpg](http://www.nutricorp.com.br/.../nutrienergiaproduto.jpg)>. Acesso em: 25 abr. 2008.

CERPCH. **Biomassa**. Disponível em: <www.cerpch.unifei.edu.br/fontes_renovaveis/biomassa.htm> acesso em: 25 abr. 2008.

CGEE. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil**: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Disponível em: <www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2008.

COSTA, M. **Biomassa: Características e Utilização**, 2005. Disponível em: <http://hidrox.ist.utl.pt/doc_fct/energias_renovaveis_biomassa.pdf> Acesso em: 12 mai. 2008.

CUPUAÇU, **Fruta do cupuaçu**. Disponível em: <www.fundaj.gov.br/docs/iesam/mhn/cupuacu.jpg>. Acesso em: 19 mai. 2008.

FREITAS, S. M.; FREDO, C.E. **Fontes Energéticas e Protocolo de Kioto**: à posição do Brasil. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/publicacoes/pdf/seto3-0505.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2008.

GASEIFICADOR, **utilizado para produção de energia elétrica**. Disponível em <<http://www.solarterra.com.br/pdf/gaseificadores.PDF>>. Acesso: 19 mai. 2008.

HOFFMANN, R. **Energia e suas implicações**. Disponível em: < <http://www.ufsm.br/cenergia/ixsact.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2008.

JUNIOR, A.L.V.;VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V.G. **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – versão 1**, 2000. Disponível: <<http://www.cepel.br/~per/download/rer/rt-789-00.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2008.

KLOCK. U.; MUNIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da Madeira**. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2008.

KNOTHE, G., GERPEN, J.V., KRAJL, J., Ramos, L.P., **Manual de biodiesel**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

MOENDA, **para extração**. Disponível: <br.geocities.com/mil ltda/microd6.jpg>. Acesso em: 25 mar. 2008.

NETO, V.C. **Análise da Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica em Ciclo Combinado com Gaseificação de Biomassa de Cana-de-açúcar e Gás Natural**, 2001. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/vcneto.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2008.

PROCESSO, **Simplex de Produção de Biogás**. Disponível: <<http://www.lamtec-id.com/img/projecto/info/biogas.gif>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

SANTOS, E.C.S.; SOUZA, R.C.R.; SEYE, O.; LAU, J.; FREITAS, K.T. **Aproveitamento da Casca do Cupuaçuzeiro para a Produção de Energia.** Disponível em: <<http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2090.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2008.

SCHMIDT, G.M. **Estudo Técnico-Econômico da Utilização da Casca de Arroz para Conversão de Energia.** Disponível em:< http://143.54.70.111/diplomacao/2002_guilherme_schmidt.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2008.

SILVA, W.M. **Pólo Nacional de Biocombustíveis: Biocombustíveis.** Disponível em:<www.polobio.esalq.usp/biocombustiveis.html>. Acesso em: 25 abr. 2008.

SOUZA, R.C.R.; SANTOS, E.C.S.; MORAIS, M.R.; SEYE, O. **Carbonização da Casca de Arroz: para uso energético.** Disponível em: <<http://cdeam.ufam.edu.br/artigos/resumo%20expandido%20arroz.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2008.