

# Biomassa no Brasil

Jeliandro Andrade Mamedes\*  
Marcos Paulo José Rodrigues\*\*  
Carlos Alberto Vanissang\*\*\*

---

## Resumo

*Este artigo ou projeto é resultado de uma pesquisa de grupo, coordenada por três alunos do curso de Eletrotécnica integrado ao ensino médio do IF Fluminense de Campos dos Goytacazes. A pesquisa foi realizada no ano de 2010, na própria instituição. O objetivo deste estudo foi caracterizar a realidade que a biomassa tem como referência para análise de novas fontes de energia renováveis, que se diferenciam tanto na questão da produção de energia limpa quanto na questão ambiental. O diagnóstico deste estudo sobre a biomassa possibilita, assim, a visualização de como os problemas de fontes de energia limpa produzida através da biomassa têm condições favoráveis que interferem diretamente na qualidade ambiental, de vida e saúde da população em geral.*

**Palavras-chave:** Biomassa. Energia renovável.

---

## Biomassa

Do ponto de vista da geração de energia, o termo biomassa abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção. Do ponto de vista da ecologia, biomassa é a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal. Os dois conceitos estão, portanto, interligados, embora sejam diferentes.

Na definição de biomassa para a geração de energia excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, embora estes também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo e gás natural), mas são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. A biomassa pode considerar-se um recurso natural renovável, enquanto que os combustíveis fósseis não se renovam a curto prazo.

A biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção. Suas vantagens são o baixo custo, é renovável, permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente que outras formas de energias como aquela obtida a partir de combustíveis fósseis.

A queima de biomassa provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, mas como esse composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO<sub>2</sub> é nulo.

## Utilização da biomassa como combustível

Um dos primeiros empregos da biomassa pelo ser humano para adquirir energia teve início com a utilização do fogo como fonte de calor e luz. O domínio desse recurso natural trouxe ao homem a possibilidade de exploração dos minerais, minérios e metais, marcando novo período antropológico. A madeira do mesmo modo foi por um longo período de tempo a principal fonte energética, com ela a cocção, a siderurgia e a cerâmica foram empreendidas. Óleos de fontes diversas eram utilizados em menor escala. O grande salto da biomassa deu-se com o advento da lenha na siderurgia, no período da Revolução Industrial.

Nos anos que compreenderam o século XIX, com a revelação da tecnologia a vapor, a biomassa passou a ter papel primordial também para obtenção de energia mecânica com aplicações em setores na indústria e nos transportes. A despeito do início da exploração dos combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o petróleo, a lenha continuou desempenhando importante papel energético, principalmente nos países tropicais. No Brasil, foi aproveitada em larga escala, atingindo a marca de 40% da produção energética primária, porém, para o meio ambiente um valor como esse não é motivo para comemorações, afinal, o desmatamento das florestas brasileiras aumentou nos últimos anos.

Durante os colapsos de fornecimento de petróleo que ocorreram durante a década de 1970, essa importância se tornou evidente pela ampla utilização de artigos procedentes da biomassa como álcool, gás de madeira, biogás e óleos vegetais nos motores de combustão interna. Não obstante, os motores de combustão interna foram primeiramente testados com derivados de biomassa, sendo praticamente unânime a declaração de que os combustíveis fósseis só obtiveram primazia por fatores econômicos, como oferta e procura, nunca por questões técnicas de adequação.

---

\* Técnico em Eletrotécnica pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro.

\*\* Técnico em Eletrotécnica pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro.

\*\*\* Técnico em Eletrotécnica pelo IF Fluminense, campus Campos-Centro.

Para obtenção das mais variadas fontes de energia, a biomassa pode ser utilizada de maneira vasta, direta ou indiretamente. O menor percentual de poluição atmosférica global e localizado, a estabilidade do ciclo do carbono e o maior emprego de mão de obra, podem ser mencionados como alguns dos benefícios de sua utilização.

Igualmente, em relação a outras formas de energias renováveis, a biomassa, como energia química, tem posição de destaque devido à alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, câmbio e transporte. A semelhança entre os motores e sistemas de produção de energia de biomassa e de energia fóssil é outra vantagem, dessa forma a substituição não teria um efeito tão impactante nem na indústria de produção de equipamentos nem nas bases instituídas para transporte e fabricação de energia elétrica.

## Materiais

- A lenha é muito utilizada para produção de energia por biomassa - no Brasil, já representou 40% da produção energética primária. A grande desvantagem é o desmatamento das florestas;
- Cana-de-açúcar - no Brasil, diversas usinas de açúcar e destilarias estão produzindo metano a partir da vinhaça. O gás resultante está sendo utilizado como combustível para o funcionamento de motores estacionários das usinas e de seus caminhões. O equipamento onde se processa a queima ou a digestão da biomassa é chamado de biodigestor. Numa destilaria com produção diária de 100.000 litros de álcool e 1500 m<sup>3</sup> de vinhaça, possibilita a obtenção de 24.000 m<sup>3</sup> de biogás, equivalente a 247,5 bilhões de calorías. O biogás obtido poderia ser utilizado diretamente nas caldeiras, liberando maior quantidade de bagaço para geração de energia elétrica através de termoelétricas, ou gerar 2916 kW de energia, suficiente para suprir o consumo doméstico de 25.000 famílias;
  - Serrim ou serradura de madeira;
  - Papel já utilizado;
  - Galhos e folhas decorrentes da poda de árvores em cidades ou casas;
  - Embalagens de papelão descartadas após a aquisição de diversos eletrodomésticos ou outros produtos;
  - Casca de arroz;
  - Capim-elefante;
  - Lodo de ETE: Especialmente os provenientes do processo de lodos ativados amplamente utilizados na indústria têxtil;

## Produtos derivados da biomassa

Alguns exemplos de produtos derivados da biomassa são:

- Bio-óleo: líquido negro obtido por meio do processo de pirólise cujas destinações principais são aquecimento e geração de energia elétrica.
- Biogás: metano obtido juntamente com dióxido de carbono por meio da decomposição de materiais como resíduos, alimentos, esgoto e esterco em digestores de biomassa.
- Biomass-to-Liquids: líquido obtido em duas etapas. Primeiro é realizado um processo de gasificação, cujo produto é submetido ao processo de Fischer-Tropsch. Pode ser empregado na composição de lubrificantes e combustíveis líquidos para utilização em motores do ciclo diesel.
- Etanol Celulósico: etanol obtido alternativamente por dois processos. Em um deles a biomassa, formada basicamente por moléculas de celulose, é submetida ao processo de hidrólise enzimática, utilizando várias enzimas, como a celulase, celobiase e  $\beta$ -glicosidase. O outro processo é composto pela execução sucessiva das três seguintes fases: gasificação, fermentação e destilação.
- Bioetanol "comum": feito no Brasil à base do sumo extraído da cana-de-açúcar (caldo de cana). Há países que empregam milho (caso dos Estados Unidos) e beterraba (da França) para a sua produção. O sistema à base de cana-de-açúcar empregado no Brasil é mais viável do que o utilizado pelo americano e francês.
- Biodiesel: Éster produzido com óleos vegetais como do dendê, da mamona, do sorgo e da soja, etc.
- Óleo vegetal: Pode ser usado em motores diesel usando a tecnologia Elsbett
- Lenha: Forma mais antiga de utilização da biomassa.
- Carvão vegetal: Sólido negro obtido pela carbonização pirogenal da lenha ou carbonização hidrotermal.
- Turfa: Material orgânico, semidecomposto encontrado em regiões pantanosas.

## Empreendimentos no Brasil

No Brasil existem algumas iniciativas neste setor, sobretudo na seção de transportes. A USGA, éter etílico, óleo de mamona e alguns compostos de álcool como a azulina e a motorina, foram produzidos em substituição à gasolina ou ao diesel com sucesso, da década de 1920 até os primeiros dias da dezena seguinte; período do colapso decorrente da Primeira Guerra Mundial.

A mistura do álcool na gasolina, iniciada por lei em 1931, permitiu ao Brasil a melhoria do resultado dos motores de combustão de forma garantida e higiênica; o uso de aditivos veneníferos como o chumbo tetra etílico, que de maneira similar foram utilizados em outros países para o aumento das características antidetonantes da gasolina, foi evitado. É de grande importância tal aumento, pois facilita o uso de maior taxa de compressão nos motores a explosão.

O Proálcool praticado nos anos de 1970, consolidou a opção do álcool como alternativa à gasolina. Não obstante os problemas enfrentados como queda nos valores internacionais do petróleo e oscilações no preço do álcool, que afetaram por várias vezes a oferta interna do álcool, os efeitos da estratégia governamental sobrevivem em seus incrementos. A gasolina brasileira é uma mistura contendo 25% de álcool e a metodologia de fabricação do carro a álcool atingiu níveis de excelência. Os problemas enfrentados na década de 1990 de desabastecimento de álcool que geraram a queda na busca do carro a álcool deixaram de ser uma ameaça ao consumidor graças à recente oferta dos carros bicompostíveis.

Recentemente, o programa do biodiesel está sendo implantado para a inserção do óleo vegetal como complementar ao óleo diesel. Primeiramente a mistura será de até 2% do derivado da biomassa no diesel com um aumento gradativo até o percentual de 20% num período de dez anos.

O experimento brasileiro não está limitado apenas à esfera dos transportes, o setor de energia elétrica tem sido favorecido com a injeção de energia procedente das usinas de álcool e açúcar, geradas a partir da incineração do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Outros detritos como palha de arroz ou serragem de madeira também sustentam algumas termoelétricas pelo país.

### Impactos ambientais

A respeito das conveniências referidas, o uso da biomassa em larga escala também exige certos cuidados que devem ser lembrados, durante as décadas de 1980 e 1990 o desenvolvimento impetuoso da indústria do álcool no Brasil tornou isto evidente. Empreendimentos para a utilização de biomassa de forma ampla podem ter impactos ambientais inquietantes. O resultado poder ser destruição da fauna e da flora com extinção de certas espécies, contaminação do solo e mananciais de água por uso de adubos e outros meios de defesa manejados inadequadamente. Por isso, o respeito à biodiversidade e a preocupação ambiental devem reger todo e qualquer intento de utilização de biomassa.

### Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento

Isaias C. Macedo, autor do trabalho, realizado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, é doutor em Ciências Térmicas pela University of Michigan e foi professor no ITA e na Unicamp, na área de energia. Sua atuação principal no período foi o planejamento e coordenação de programas em energia renováveis. A partir de 1981 passou a dirigir a pesquisa e o desenvolvimento em cana-de-açúcar e seus produtos, no Centro de Tecnologia da Coopersucar.

Biomassa tem sido usada de forma crescente no mundo como insumo energético; muito mais para usos finais como energia térmica, mas já de forma importante como geradora de energia elétrica, e de forma também crescente como origem de combustíveis líquidos (etanol). Em 1996 estimava-se em 33 – 35 EJ (cerca de 11% do consumo mundial) a produção de energia da biomassa, em diversas formas.

Uma avaliação abrangente e atual da situação do uso específico de biomassa para eletricidade em 1999 indica que:

- ✓ A capacidade instalada aumentou 3% ao ano nos últimos 5 anos, atingindo 40

GWe (final de 1998); o fator de capacidade fica entre 25 e 80%, os menores valores correspondendo à operação sazonal, com resíduos. Em 1998 a produção de energia foi de 160 TWh; o investimento nas plantas variou de 900 a 3000 US\$/kW, e os custos finais da energia entre 5 – 15 ¢/kWh. Custos estimados para o futuro eram de 4 – 10 ¢/kWh. Notar que em alguns setores no Brasil já se atinge os níveis mais baixos de “custos futuros”.

- ✓ Para comparação, no mesmo período o uso de energia térmica da biomassa

(excluindo a termoeletricidade) também cresceu 3% ao ano, com capacidade de 200 GWt; a mesma faixa de fatores de capacidade (25 a 80%), e com produção anual acima de 700 Twh. Investimentos na produção estimados entre 250 – 700 US\$/kW, e custos de energia 1 – 5 ¢/kWh.

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 cogeração 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. No caso do Brasil há questões importantes quanto ao uso da biomassa, a partir da constatação de que somos relativamente grandes usuários e já incorporamos comercialmente usos “modernos”:

Há realmente “vantagens relativas” para o uso maior de biomassa no Brasil? Se as há, como podemos quantificá-las (potencial e tecnologias)?

Como orientar o desenvolvimento tecnológico para avaliar e utilizar melhor estas oportunidades?

A produção de energia elétrica a partir de biomassa apresenta duas características importantes:

- O conteúdo energético da biomassa é relativamente pouco “denso” espacialmente, exigindo

- coleta e transporte para concentrar o insumo; portanto, os custos do insumo crescem com a capacidade da unidade de conversão.

- As tecnologias de conversão para energia elétrica convencionais, essencialmente termoeletricas, apresentam forte economia de escala (o investimento por unidade de insumo cai e as eficiências de conversão aumentam, com a capacidade).

- Investimentos em tecnologia têm buscado aumentar a eficiência de conversão em sistemas de

- menor capacidade e reduzir custos de coleta/transporte da biomassa.

- Para reduzir o custo de transporte as aplicações mais promissoras de biomassa para energia elétrica utilizariam, na ordem:

1. Resíduos de outros usos de biomassa (exemplo, produção de alimentos) que estejam já

2. concentrados no local de uso, tendo o custo do transporte sido absorvido pelo custo do

3. produto principal (bagaço de cana, palha de arroz, restos em serrarias, casca de árvores na

4. indústria de celulose, etc.).

5. Resíduos de outros usos de biomassa que possam ser coletados e transportados a baixo custo

6. (exemplo, parte da palha da cana).

7. Plantações específicas para a produção de energia (exemplo, florestas comerciais).

Apesar das plantações energéticas aparecerem sempre como a opção final (após esgotados os

resíduos em princípio mais baratos) devemos atentar para o fato de que o custo de madeira plantada no Brasil hoje é extraordinariamente baixo, como se depreende da crescimento da nossa indústria de celulose. Portanto, é preciso reavaliar as possibilidades das plantações energéticas para o caso brasileiro; temos mantido um certo viés, tratando sempre dos potenciais associados aos resíduos.

Com a “internacionalização” gradual das tarifas de energia de origem térmica, e com os custos decrescentes da produção de madeira, é muito provável que a viabilização comercial de ciclos termoeletricos mais eficientes ocorra no Brasil, a curto prazo.

Para aumentar a eficiência de conversão, buscase nos ciclos tipo Rankine o aumento das pressões de operação e turbinas mais eficientes; nos últimos anos busca-se novas tecnologias, notadamente as baseadas em gasificação.

Vendo o sistema energético de forma mais ampla, além da simples geração de energia elétrica, é claro que sistemas de geração a partir de biomassa, com suas características de porte médio/pequeno (no máximo algumas dezenas de MW) devem buscar usos em cogeração sempre que possível. Agregar uso da energia térmica à geração elétrica fica muito mais fácil com sistemas distribuídos do que em grandes centrais. Este é um caminho natural para indústrias como a de papel/ celulose e cana-de-açúcar, e poderá vir a ser muito mais utilizado com a incorporação por estas indústrias de outros processos produtivos consumidores de energia térmica.

Outro ponto importante a considerar, quando se trata da queima de resíduos agrícolas com produção sazonal, é a possibilidade de uso simultâneo de combustíveis complementares para permitir a geração durante todo o ano sem aumentar os custos de logística e estocagem da biomassa. Esta tem sido a prática normal em situações como a da cogeração no Havaí e em Reunião, onde o suprimento anual é importante; combustíveis auxiliares têm sido carvão e óleo. No caso das usinas no centro-sul do Brasil, é possível que o gás natural seja um combustível complementar adequado.

Somente uma definição mais clara do “futuro” sistema de geração no Brasil, com papel definido para as térmicas, poderá esclarecer sobre a importância relativa de ter-se a cogeração das usinas de açúcar concentrada no período seco, ou distribuída ao longo do ano.

## Tecnologias

Os tipos de biomassa residual existentes em maior quantidade no Brasil (por exemplo, bagaço de cana, casca de madeira, lixívia, palha) e as quantidades disponíveis por ano no local de uso definem as tecnologias comerciais disponíveis. Uma classificação simplificada, útil para a avaliação de potenciais neste estágio, seria a seguinte:

**Geração em pequena escala (menor que 1 MW):** usados em locais de pequena “concentração” de biomassa; os sistemas podem ser a vapor (alternativos, ou mesmo a turbina) ou utilizar

gasificadores da biomassa acoplados a motores (Diesel ou Otto). Há avanços nas tecnologias de motores a vapor alternativos e pequenas turbinas, que já são totalmente comerciais embora ainda com eficiências relativamente baixas; os sistemas de gasificação estão ainda em estágio mais atrasado, embora um grande volume de trabalhos no mundo esteja em curso. Pode-se dizer hoje que conhecemos perfeitamente as características, confiabilidade e desempenho esperado de sistemas a vapor (motores alternativos ou turbinas) nesta categoria; mas não temos a mesma qualidade de informação para sistemas com gasificação / motores.

**Geração em escala média / grande (dezenas de MW); ciclos a vapor:** tecnologias totalmente comerciais e ampla mente empregadas nas agroindústrias da cana-de- -açúcar ou celulose. As eficiências na conversão para energia elétrica são fortemente dependentes do nível de pressão utilizado e do uso de cogeração total ou parcial. Caldeiras a 20 bar, em cogeração pura com pressão de escape a 1.5 bar (como na maioria das usinas de açúcar, hoje) atingem 7% de conversão; a 80 bar, condensação, podem atingir 30%. Os equipamentos são produzidos no Brasil com exceção de alguns itens de instrumentação e componentes de turbinas. Caldeiras para madeira, cavacos, bagaço de cana são produzidas com tecnologias modernas; casos especiais como caldeiras para lixívia (tipo Tomlinson) ou palha de arroz (Biochamm, por exemplo) são também disponíveis. Estes equipamentos são os mais utilizados para essa faixa de capacidades, no mundo; têm continuamente incorporado avanços (sempre limitados em eficiência de conversão pela natureza do processo), sendo hoje um conjunto de tecnologias dominado no Brasil em todos os seus aspectos, incluindo controle ambiental.

**Geração em escala média/grande (dezenas de MW); ciclos de gasificação/turbinas a gás:** essas tecnologias não são comerciais, hoje, no mundo. Devem ser consideradas na análise do potencial (e na análise de prioridades para desenvolvimento tecnológico) pelo seu estágio atual e pela promessa de bom desempenho técnico / econômico apresentada. A expectativa é de que possam gerar energia a custos equivalentes aos dos ciclos convencionais a vapor, mas com muito maior eficiência (até duas vezes maior).

O estágio atual de desenvolvimento pode ser bem avaliado através de dois projetos em execução no Brasil: um para cavacos de madeira, na Bahia, e os estudos para bagaço e palha de cana, na Copersucar (São Paulo). Ambos consideram a tecnologia de gasificação atmosférica, com a qual a primeira planta comercial deverá operar na Inglaterra, neste ano (Selby, 8 MW eletricidade,

madeira). Outras tecnologias em estudo são a gasificação pressurizada (o melhor exemplo é a planta experimental de Varnamo, Suécia; 6 MW eletricidade) e a gasificação com aquecimento indireto (planta de demonstração em Burlington, 200 t madeira/dia, sendo operada desde 1998 apenas com produção de gás) Os resultados mais recentes confirmam a expectativa de obter-se altos rendimentos de conversão para energia elétrica, praticamente dobrando os valores obtidos para os ciclos de vapor convencionais; mas custos finais poderiam ser competitivos após a construção de pelo menos uma dezena de unidades, nos próximos anos, problemas tecnológicos (alimentação de biomassa de baixa densidade; limpeza dos gases) têm sido resolvidos nos casos mais simples (sistemas atmosféricos); o maior desafio hoje será a redução dos custos dos gasificadores. Podemos dizer que pelo menos para sistemas de baixa pressão a tecnologia de gasificação e o uso de ciclos combinados continuam sendo altamente promissores.

## Principais oportunidades no Brasil

Como esperado, as oportunidades estão inicialmente concentradas no uso de resíduos em alguns setores (cana de açúcar, celulose e papel, grãos, indústria da madeira). No entanto a situação excepcionalmente promissora do potencial para plantações energéticas merece muita atenção.

As características de cada setor são vistas resumidamente em seguida.

### Setor da cana-de-açúcar

No Brasil há 308 usinas de açúcar e álcool, com um processamento médio de 1 milhão de toneladas de cana por usina. No estado de São Paulo as 130 usinas processam 1,5 milhões de toneladas por ano, em média.

Cada tonelada de cana (colmos) produz 140 kg (M S) de bagaço, das quais 90% são usados para produzir energia (térmica e elétrica) na usina; adicionalmente, contém 150 kg de açúcar (usado para açúcar, etanol e agora plásticos); e 140 kg (MS) de palha, que hoje é perdida (queimada no campo).

O bagaço é equivalente a 11 milhões t óleo combustível; 25% da palha, se recolhidos, seriam equivalentes a 3,2 milhões t óleo.

O autoconsumo de energia elétrica da usina (12 kWh/t cana) e o uso de energia mecânica (16 kWh/t cana) correspondem a uma potência instalada de cerca de 2.4 GW. Além disso as usinas utilizam cerca de 330 kWh/t cana de energia térmica. Praticamente toda a energia térmica, e cerca de 95% da elétrica, são produzidos na própria usina

com sistemas de cogeração a bagaço.

Um fato importante é que a energia renovável produzida pelas usinas para uso externo, hoje principalmente etanol, é cerca de nove vezes maior que o insumo fóssil utilizado na sua produção, tornando o processo o mais atraente entre os usos comerciais de energia alternativa no mundo, sob o ponto de vista de sustentabilidade, com a redução de emissões de gases de efeito estufa em cerca de 12,7 milhões de t de Carbono (equivalente).

É desejável que a evolução natural das usinas ocorra de forma a:

- Aumentar a eficiência no uso do bagaço
- Desenvolver a colheita/utilização da palha
- Buscar produtos (alto volume) de fermentações do açúcar
- Buscar novas opções (energéticas) para o etanol

Um grande trabalho tem sido realizado no Brasil na busca de tecnologia para a colheita / transporte da palha, assim como para a avaliação da sua disponibilidade real. Os resultados indicam que é possível conseguir palha na usina a US\$ 1.3/GJ (8;5). A legislação que restringe gradualmente a queima pré-colheita deverá atuar positivamente para que esse resíduo seja incorporado ao sistema de geração de energia nos próximos anos.

Hoje a geração de energia elétrica das usinas cobre apenas as necessidades internas; uma avaliação rápida do potencial prático pode ser vista:

**Co-geração em usinas:** convencional e com gasificação consumo no processo,

(kgv/tc)

500 340 Pot. Efetiva, Brasil (GW)

Energia, (kWh/tc)

Energia Excedente,

80%; Brasil

(TWh)

Safra Anual

Cogeração, vapor

100% do bagaço

57 69 13.6 – 16.6 3.1 – 3.8

Cogeração, vapor

Bagaço + 25% palha

88 100 21.1 – 24.0 2.4 – 2.7

Cogeração, vapor

Bagaço + 40% palha

115 126 27.6 – 30.2 3.1 – 3.4

BIG – GT (parcial)

Bagaço + 40% palha

167 40.0 4.6

**Co-geração convencional:** ciclos a vapor, condensação-extração, 80 bar; usando todo o bagaço e em alguns casos complementando com palha.

**Gasificação:** ciclos envolvendo gasificação do bagaço e uso de turbinas a gás; tecnologia não disponível hoje, comercialmente.

**Palha:** não disponível hoje; valores crescentes nos próximos anos BIG – GT parcial: parte do bagaço ainda é queimado em caldeiras, não gasificado.

Sistemas com gasificação total poderiam ter maior eficiência. Operação somente na safra (4400 h/ano) e anual (8760 h/ano) 80%: considera-se que 20% do potencial não será utilizado, por vários motivos energia térmica, hoje ~500 kg vapor/t cana (~330 kWh/tc).

Os custos de energia estariam na faixa inferior dos custos internacionais para o caso (~ 4¢/kWh). Taxas de penetração no mercado são função de condições de financiamento, remuneração e legislação; mas seria possível ter algumas centenas de MW em dois anos, com aumento nos dez anos seguintes. Hoje o excedente vendido não atinge 100 MW.

Mesmo com 80% apenas do potencial possível com tecnologias convencionais, já utilizadas no Brasil, considerando uma certa redução no consumo interno de energia térmica nas usinas e o aproveitamento parcial da palha, já atingiríamos valores entre 3 e 4 GW, em operação anual. Como discutido, tecnologias em desenvolvimento, em fase piloto comercial, (gasificação do bagaço/palha e uso de turbinas a gás em ciclo combinado) poderiam dobrar esse potencial; mas não se deve esperar início de produção comercial significativa antes de cinco anos.

## Setor de papel e celulose

Com mais de uma centena de instalações industriais, o setor de papel e celulose produziu 6,3 milhões de toneladas de celulose e 6,5 milhões de toneladas de papel, em 1997; é um setor em expansão, com previsão (1998) de crescimento em celulose de 35% até 2002. Merece uma atenção especial, pelo seu alto consumo de energia elétrica (adquiriu em 1997 quase 8% da energia de consumo industrial no país, cerca de 10.000 GWh) e por suas possibilidades excepcionais para a cogeração com combustível próprio, renovável.

Uma característica importante, e diferente do setor da cana-de-açúcar, é que aqui o consumo de energia elétrica é relativamente elevado (em relação à energia térmica) de modo que mesmo utilizando todo o combustível necessário para vapor em cogeração não seria possível atingir a autossuficiência em energia elétrica. Como se verá abaixo, as baixas tarifas de suprimento não permitiram (até hoje) esse aproveitamento; nem mesmo o uso, para vapor, da madeira própria, além dos resíduos e lixívia. Essa situação deve mudar rapidamente.

A geração própria deve ser analisada no contexto dos tipos de processamento industrial existentes: produtores de celulose, produtores de papel ou usinas integradas.

As produtoras de celulose ou integradas dispõem de combustível próprio, a partir de sua matéria prima: a lixívia (subproduto do processo Kraft) e cavacos, cascas de madeira e lenha residuais.

Essas indústrias ainda não utilizam toda a sua capacidade de produção de energia elétrica; houve também um aumento significativo do consumo de óleo combustível, pelo seu baixo custo, e compra de energia elétrica da rede, porque as tarifas de suprimento (R\$ 43-47/MWh, 1999) inviabilizavam a instalação de sistemas de cogeração.

No conjunto das indústrias de celulose e as integradas (32 empresas, 1997), 21 possuem alguma geração própria de energia, sendo 19 em cogeração; essas indústrias geram aproximadamente 60% das suas necessidades em energia elétrica.

As produtoras de papel não têm combustível próprio, e usam principalmente óleo combustível ou lenha. Os valores das tarifas de suprimento não induziam à prática da cogeração; apenas duas, entre 99 produtoras de papel, apresentavam geração térmica (1996).

No conjunto, as empresas do setor geram pouco menos de 50% da energia elétrica utilizada. A tendência é aumentar essa porcentagem, em função da crise de energia elétrica (2001). A capacidade instalada no setor era, em 1999, de 718 MW. Embora estudos da Eletrobrás indiquem um potencial técnico de aumento para 1740 MW, isso se refere ao uso de cogeração usando gás natural como complementação; no caso das fábricas de papel, seria cogeração somente com combustível fóssil. A expansão com biomassa (resíduos: lixívia, cascas, restos) foi avaliada em estudo recente para as empresas integradas; a amostra incluiu cerca de 50% da produção.

Uma opção visou autossuficiência térmica com biomassa (lixívia, cascas, e algum complemento com lenha) em sistemas de cogeração pura, caldeiras de 60 bar. Os resultados indicam um aumento de 64% na geração de energia elétrica, atingindo 79% de autossuficiência; a potência instalada seria de cerca de 450 MW. Nesta base, é razoável supor que as integradas no seu total poderiam atingir 900–1000 MW. Este potencial seria alcançado somente com biomassa, mas incluindo uma parcela considerável de lenha adicional. Outras opções utilizariam gás natural como complementação, visando inclusive atingir autossuficiência em energia elétrica.

Resumindo: as fábricas de papel não dispõem de biomassa para geração de energia. As fábricas de celulose ou integradas têm capacidade instalada

de 718 MW, hoje, usando lixívia e cascas; como não são autossuficientes (em calor ou energia elétrica) poderiam melhorar a eficiência dos seus sistemas de conversão, e complementar com lenha o combustível para atingir autossuficiência em vapor; atingiriam potências de 900–1000 MW instalados, com 79% de autossuficiência elétrica. Gás natural poderia ser considerado para complementar a diferença até a autossuficiência, dependendo de análise econômica favorável.

## Resíduos da produção de grãos

Embora o volume de resíduos gerados na produção agrícola seja muito elevado (mais de 100 milhões de toneladas anuais, somente com milho e soja) uma parte relativamente pequena seria aproveitável para energia hoje na ausência de tecnologia / custos adequados de coleta e transporte.

Um levantamento recente avalia a produção total de resíduos de grãos mais importantes no país como sendo:

- Milho (palha, sabugo; deixados no campo) 54,4 milhões t
- Soja ( deixados no campo) 47,8
- Arroz (casca, concentrada no beneficiamento) 3,4
- Trigo (casca, concentrada no beneficiamento) 2,6

Desses, apenas as parcelas referentes a arroz e trigo seriam aproveitáveis hoje. O milho pode vir a ser importante, porque os volumes expressivos têm levado (no exterior) ao desenvolvimento de sistemas de colheita prevendo a recuperação dos resíduos; deve-se avaliar economicamente o processo para o Brasil (adequação da tecnologia, parcela recuperável, impactos no solo, custos envolvidos, valor da energia gerada). Soja deve apresentar maior dificuldade, inclusive pelos aspectos de efeitos no solo e alta impureza mineral nos resíduos, dependendo da tecnologia.

Sistemas de conversão para a palha de arroz têm sido implantados em dezenas de unidades produtoras; são em geral unidades pequenas, a maioria abaixo de 2 MW, mas já evoluindo das máquinas a vapor para sistemas mais eficientes, com pequenas turbinas. Locais com maior concentração poderiam utilizar sistemas a vapor com maior eficiência.

Considerando apenas arroz e trigo, o uso de 80% da palha, e uma eficiência “média” de conversão de 20% teríamos cerca de 4.000 GWh/ano de energia, ou uma potência efetiva de 450 MW.

Notar que os resíduos de milho e soja são cerca de vinte vezes maiores que os de arroz e trigo, e sua utilização precisa ser buscada.

## Resíduos da indústria da madeira

Uma avaliação do CENBIO feita com dados da IMAZON (1997 – 98) (9;11) é uma base adequada para estimar o potencial de geração desse setor. A partir de levantamentos cobrindo cerca de 95% da produção de madeira da Amazônia (75 locais), e estimando as porcentagens de perda de madeira no campo (15%), nas serrarias (50%, no local de destino) e nas fábricas de móveis (20%, também no destino) chegou-se a 7,6 milhões de toneladas de resíduos. A conversão seria feita em unidades de pequeno porte (até alguns MW, caldeiras abaixo de 20 bar, eficiência de 15%) ou de maior porte (dezenas de MW, sistemas de vapor com eficiência de 30%) levando a potências instaladas de 430–860 MW.

Acrescentando a isto a produção de madeira do Sul e Mato Grosso, o potencial aumentará; mas os limites são claros.

## Plantações para energia

Qualquer cenário analisando o uso de energia de biomassa em maior escala nas próximas décadas, a nível mundial, concluirá por um potencial de uso de florestas plantadas muito maior que o de resíduos.

Para exemplificar, vejamos a situação do uso da terra hoje no mundo, e um cenário para 2050 na América do Sul.

Dos 13,1 Gha de terras disponíveis no mundo, hoje 1,5 são usados para culturas permanentes; 4,2 são ocupados por florestas; 3,4 por pastagens permanentes; e dos 4,0 restantes, 1,6 a 1,8 são terras com potencial (água) suficiente para cultivo.

Em 1990, das terras com potencial para produção na América do Sul (0.865 Gha) apenas 0,153 Gha eram cultivados; admitindo um aumento de cultivo de 0,082 Gha até 2050 (em função de aumento populacional, desenvolvimento e outros) teríamos uma área adicional máxima para produção de biomassa de 0,630 Gha. A energia disponível seria de 100 – 190 EJ, dependendo das produtividades (8,5 a 15 tMS/ha.ano). Estes valores são equivalentes a 25 – 50% de toda a energia usada hoje, no mundo (400 EJ).

Cenários desse tipo são úteis para mostrar que, até esse nível de uso, não há conflitos entre a produção de alimentos e energia, em escala global. Por outro lado, a possibilidade de atingir esses níveis é claramente limitada por alguns fatores. Entre os mais importantes estão: a prioridade relativa para outros usos da biomassa (madeira, celulose); a capacidade de atingir os níveis de produtividade objetivados, nessa escala; as tecnologias disponíveis para a conversão; o uso de fertilizantes. São ainda mal conhecidos os

impactos sobre a disponibilidade de água, e os impactos ambientais no solo (perda de nutrientes e erosão; estes provavelmente de mitigação mais simples).

Finalmente, o teste final para a viabilidade do potencial é o econômico: que volume de energia seria obtido a um determinado custo?

O mais importante, analisando a situação no Brasil, é que não só os valores potenciais aqui são altíssimos como os custos de produção de madeira são muito baixos. De fato, já em 1993 um estudo detalhado da CHESF indicava potenciais para a produção de Eucaliptus no Nordeste em 50 milhões de ha (12.6 EJ/ano; com uma conversão termoelétrica de 20%, cerca de 85 GW), a custo médio de US\$ 1,36/GJ. Estes custos são extremamente atraentes, considerando que o objetivo a atingir nos próximos 20 anos para alguns programas nos Estados Unidos é um custo entre 1,5 e 2,0 US\$/GJ.

Portanto, embora evidentemente o potencial a curto prazo de resíduos seja atraente e deva ser realizado, é de grande importância desenvolver tecnologias para viabilizar o potencial de florestas plantadas. Seria adequado rever com parâmetros de hoje (econômicos, técnicos, e ambientais) não só o estudo da CHESF, mas outras iniciativas do tipo, contando com a experiência em produção florestal existente no país; e chegar a um modelo para avaliação dos potenciais regionais para a produção de madeira visando especificamente a produção de energia elétrica. Este modelo consideraria as áreas “econômicas” para a capacidade adequada de tecnologias convencionais, e de sistemas avançados (com gasificação).

As considerações acima tratam de modo muito resumido as oportunidades para aumentar significativamente a oferta de energia a partir da biomassa; mas já são suficientes para levantar uma série de questões sobre pontos onde seria necessário investir na aquisição de conhecimento, e no desenvolvimento tecnológico. Uma lista preliminar desses pontos, que precisaria ser muito mais detalhada para levar a resultados, é proposta:

Gasificadores de biomassa de pequeno porte (~ 1 MW, e menores) merecem uma “racionalização” no direcionamento do desenvolvimento. A partir dos inúmeros experimentos/sistemas “pré-comerciais” anunciados, seria interessante buscar definir o estágio de desenvolvimento quanto à confiabilidade de operação, níveis exigidos de manutenção/operação, tratamento de efluentes e eficiências. Seria depois possível planejar para “completar” minimamente o desenvolvimento.

Caberia uma análise comparativa com valores esperados para uma tecnologia que não foi mencionada aqui: uso de células de combustível

estacionárias, nesta faixa de potências, com reforma de etanol.

Para a gasificação de grande porte, devemos avançar na implantação/testes de piloto comercial para madeira (WBP – Bahia) e completar os estudos para a eventual implantação de um ciclo em usina de açúcar. Seria muito proveitoso fazer um acompanhamento cuidadoso das três principais aplicações nesta área, no mundo.

Para os setores com tecnologia já implantada comercialmente em cogeração (cana e papel/celulose) é muito interessante começar a analisar ciclos envolvendo o uso de combustíveis complementares (gás natural, carvão, óleo). As opções (são diversas) podem facilitar a solução de problemas como a sazonalidade do fornecimento das usinas de açúcar, além de baixar custos de produção.

É indispensável continuar a trabalhar na redução de custos na coleta de alguns resíduos. Exemplos são a palha da cana, em que se persegue menor custo de coleta/transporte e aumento da disponibilidade; e também os resíduos do milho, para os quais já se busca tecnologia de coleta nos Estados Unidos. Também a experimentação de resíduos “novos” com as caldeiras convencionais precisa ser feita (no caso da cana, misturas de palha com bagaço).

Deve-se completar o “inventário” de resíduos, muito bem feito preliminarmente pelo CENBIO, incluindo a indústria da madeira do Centro-Sul e indo além na avaliação da disponibilidade real.

Deve-se empregar grande esforço na análise do potencial real de florestas “energéticas”. Não há dúvidas sobre as dimensões (muito maior que os potenciais de resíduos) e as vantagens competitivas (conhecimento da indústria florestal, capacidade de produção a custos imbatíveis no mundo, hoje).

Uma ideia para discussão seria a de desenvolver as bases de um modelo para a avaliação de potenciais econômicos locais, já considerando as características das tecnologias (comercial, hoje, vapor; e futura, gasificação), as possibilidades de cogeração, e todas as restrições (ambientais, competição local por terra para outros fins).

Estudos na área florestal para a seleção de variedades voltadas para a produção de energia; estudos na área de cana visando o mesmo objetivo. Programas de seleção convencional hoje, no caso da cana, poderiam incorporar algum trabalho em transformação genética nesse sentido.

## Referências

BIOMASSA. Wikipedia. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org/wiki/biomassa>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

CGEE. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Disponível em: <[http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003\\_02](http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02)>. Acesso em: 21 nov. 2010.

