POSSÍVEL USO DA BIOMASSA COMO ALTERNATIVA PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA DO BRASIL

Ana Claudia Coenca Maia
IBMEC-RJ

Carlos Francisco Simões Gomes
Professor Adjunto IBMEC-RJ
Email: cgomes@ibmecrj.br

Abstract
This work is the study of a source of clean energy and renewable known as biomass. The production of electricity from biomass is much defended as an important alternative for many developing countries. The aim of this work is to show the potential of this source of energy, biomass, as one of clean and safe alternatives to address a possible rationing that Brazil may face in coming years because of the disparity in the growth of demand for energy and growth in the supply of power in our country.
Key-word: Biomass; Energy; Multicriteria

Resumo
Este trabalho refere-se ao estudo de ordenação de uma fonte de energia limpa e renovável denominada biomassa. A produção de energia elétrica a partir da biomassa é muito defendida como uma alternativa importante o desenvolvimento de muitos países. O objetivo desse trabalho é mostrar o potencial dessa fonte de energia, a biomassa, como uma das alternativas limpa e segura para solucionar um possível racionamento que o Brasil poderá enfrentar nos próximos anos devido ao descompasso do crescimento da demanda por energia e o crescimento da oferta de energia elétrica em nosso país.

Palavra-chave: Biomassa; Energia; Multicritério.

1. Introdução

Os recursos renováveis representam cerca de 20% do suprimento total de energia do mundo, sendo 14% proveniente de biomassa e 6% de fonte hídrica. No Brasil, a proporção da energia total consumida é cerca de 35% de origem hídrica e 25% de origem em biomassa, significando que os recursos renováveis suprem aproximadamente dois terços da demanda de energia do País (Valor Econômico, 2008). Entre os principais tipos de biomassa estão a cana-de-açúcar para a produção de etanol e óleos vegetais para a produção de biodiesel. Estas matérias primas possuem "boa" disponibilidade na natureza, e o seu uso não agridem o meio ambiente, fazem parte de um processo produtivo sustentável, atributo de grande importância no mundo contemporâneo. O aquecimento global colocou em discussão a responsabilidade social das empresas/países na adoção de matérias-primas geradoras de energia limpa. Pelo lado econômico, o uso de energia limpa pode ser a solução frente à escassez de petróleo; são originadas de ciclos naturais, e praticamente inesgotáveis; não provocam alterações no balanço térmico do planeta; e são lucrativas, pois dão às empresas a possibilidade de negociar créditos no mercado de carbono. O segmento, formado no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), faz parte da implementação do Protocolo de Kyoto; está em vigor desde fevereiro de 2004, porém é rejeitado pelos EUA, este documento internacional visa reduzir ou limitar as emissões de gases causadores do efeito estufa até 2012 (Alves, 2007). As empresas, que utilizam tecnologias limpas no mercado brasileiro, podem ainda contar com o Programa de Desenvolvimento Limpo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Lançado em julho de 2007, este financiamento estimula iniciativas empresariais de preservação do meio ambiente, em detrimento de atividades poluentes. O programa, instalado pelo BNDESPAR ou BNDESPar, uma holding brasileira de propriedade do BNDES criada para administrar as participações do banco em diversas empresas, prevê a formação de fundos mútuos fechados de investimento. A finalidade dessa modalidade financeira é apoiar projetos que atendam a Redução Certificada de Emissões ou créditos de carbono (RCE). Estão reservados R$ 200 milhões para o programa, iniciado em 2005 cujo prazo de vigência encerra-se em 31 de dezembro de 2009. A expectativa do banco de fomento é aumentar a atratividade econômica de operações como geração de energia elétrica, e de projetos com foco na eficiência energética. Este artigo tem como propósito analisar e comparar alguns tipos de energias produzidas por biomassa. Analisar-se-á a biomassa oriunda do Bagaço de Cana, Licor Negro, Resíduos de Madeira, Biogás e Casca de Arroz (Maia, 2008).

2. Setor Energético Brasileiro

No Brasil a oferta de energia é cerca de 51 mil megawatts de capacidade instalada; e a demanda é de 53,5 mil megawatts; ocorreu um aumento total de 7,9% na demanda de 2005 para 2007. O consumo de eletricidade no Brasil deve se aproximar de 1.200 terawatts-hora (TWh) em 2030. Isso deve ocorrer devido à previsão de um crescimento anual médio de 4% no uso de eletricidade. O aumento do consumo é conseqüência do crescimento da população, que deve passar dos atuais 188 milhões de habitantes para 243 milhões (em 2030), e da universalização do serviço. Outro motivo é a melhora da renda da população. A expectativa do governo era que a conclusão do Programa Luz para Todos, em 2008, permitisse a oferta de eletricidade em todas as residências da zona rural do país (Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2009).

De acordo com o site: http://200.198.213.102/luzparatodos/downloads/Informativo%2015.pdf até dezembro de 2008 9,3 milhões de pessoas foram beneficiadas com o programa. A busca de um melhor padrão de vida fez com que os brasileiros, ocasionado pela elevação de renda, comprem uma quantidade maior de eletrodomésticos para suas residências, isso pode ser comprovado pelo aumento de venda desses produtos nas lojas. Os níveis de consumo de eletricidade per capita devem continuar crescendo em ritmo semelhante ao registrado nas últimas décadas.

Entretanto a crise desencadeada no último trimestre de 2008 deve gerar uma diminuição do ritmo de crescimento da demanda. Segundo a Revista Exame de abril de 2008, nas residências o consumo por pessoa entre 1970 e 2005 subiu de 90 quilowatts-hora (kWh) para 452 kWh por ano. A previsão é que, até 2030, o consumo per capita atinja 1200 kWh. Se as previsões estiverem corretas os investimentos em novas usinas serão indispensáveis para evitar o risco de um apagão energético no futuro. A estimativa é que até 2018 serão investidos R$ 134 bilhões em

novas usinas. A preocupação da sociedade com as questões ambientais fará com que as usinas energéticas fiquem cada vez mais eficientes. O governo considera a implantação de leilões de eficiência energética, nos quais projetos de conservação de energia concorreriam com novas usinas. As perspectivas são que esse tipo de medida permitirá uma economia da ordem de 10% no consumo de eletricidade previsto para 2030, fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2008 e site Natureza Brasileira (2009). O ano de 2007 foi marcado pelo bom desempenho da atividade econômica, com uma taxa de crescimento do PIB superior a 5%, impulsionada pelo nível mais baixo das taxas de juros reais e pelo acelerado crescimento da oferta de crédito, que evoluiu 27,3% no ano, de acordo com indicadores do Banco Central. O fluxo de entrada de dólares manteve-se abundante, levando a uma valorização de 17% do real em comparação ao dólar. A recuperação mundial das cotações dos alimentos pressionou os índices de preços no final de 2007, levando o IPCA a encerrar 2007 muito próximo à meta de 4,5% e o Banco Central a interromper o ciclo de flexibilização da política monetária, após reduzir a taxa Selic de 13,25% para 11,25%. Para 2008, as perspectivas para a economia brasileira seguiam positivas, ainda que cercadas de maior cautela por conta das incertezas que rondam o cenário internacional. Estas incertezas se confirmaram com a crise internacional no final de 2008. Nesse cenário, o consumo de energia no País cresceu 4,8% no ano, segundo balanço divulgado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no final de dezembro de 2007, percentual abaixo da variação do PIB, mas superior aos 3,5% registrados no ano anterior. Esse descolamento, segundo a entidade, pode indicar uma maior participação de segmentos não intensivos em energia na economia brasileira e o aumento da auto-produção de energia por grandes consumidores. Esse descompasso entre a oferta e a demanda por energia elétrica em nosso país pode ser observado no gráfico 1.

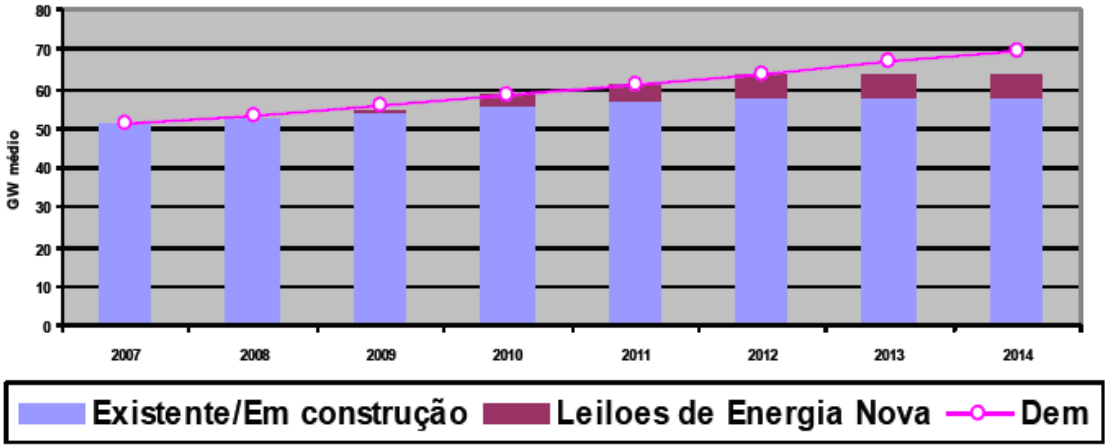


Gráfico 1 – Balanço entre oferta de energia firme e demanda

Salienta-se que o Brasil possui a quarta maior população mundial, mas o consumo energético em 2007 foi de apenas 1,29 tep (tonelada de equivalente de petróleo por pessoa/ano), enquanto a média mundial é de 1,7 tep, e a média dos países ricos é de 4,7 tep. Ainda temos de ampliar muito a nossa oferta de energia (Sites: Ambiente Brasil, 2009 e Planeta Sustentável, 2009). O balanço do ONS aponta que a carga de energia no País - que inclui consumo e perdas de eletricidade no sistema – atingiu 49.734 MW médios em 2007, em comparação a 47.473 MW médios em 2006. A maior alta de consumo (5%) ocorreu nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, subsistema que representa 62% da carga de energia do País. Na Região Nordeste, o crescimento foi de 4,8%, impulsionado pelo desenvolvimento econômico regional provocado pelos programas sociais do governo. No Sul, o crescimento na carga de energia foi de 4%, com forte influência da retomada da produção agrícola. Já no Norte, o aumento foi de 3,7%. No decorrer de 2007, a agenda do setor elétrico voltou a incluir o debate sobre os riscos de desabastecimento de energia, especialmente para o período 2009-2011. Essa preocupação decorre de atrasos em licenciamentos e obras de centrais hidrelétricas, problemas de fornecimento de gás natural da Bolívia, que abastece centrais termelétricas, e redução dos níveis de reservatórios hídricos, em decorrência de menores volumes de chuvas no período do verão (Agencia Nacional de Energia Elétrica –

ANEEL, 2009). A geração de energia elétrica em todo país, segundo o ONS, atingiu 102.610 MW em 2008. Nos próximos anos deverá ocorrer uma diversificação na matriz energética do Brasil, segundo estudos da EPE, que apontam que a participação das hidrelétricas no país na produção de eletricidade deve cair dos atuais 73,15% (em 2008) para 65% até 2016. Com isso a geração térmica, que inclui fontes como gás natural, carvão mineral, óleo combustível e biomassa, passará dos atuais 22,18% para quase 30% no período em questão. Indica o fim da hidroeletricidade abundantes e próximas dos grandes centros de consumo. Simultaneamente deve garantir maior segurança de abastecimento. Uma vez que reduzirá a dependência de uma única fonte (Gráfico 2). Deslumbra-se um cenário até 2016 que o parque gerador brasileiro saia dos atuais 102,61 Gw instalados para 150 Gw.

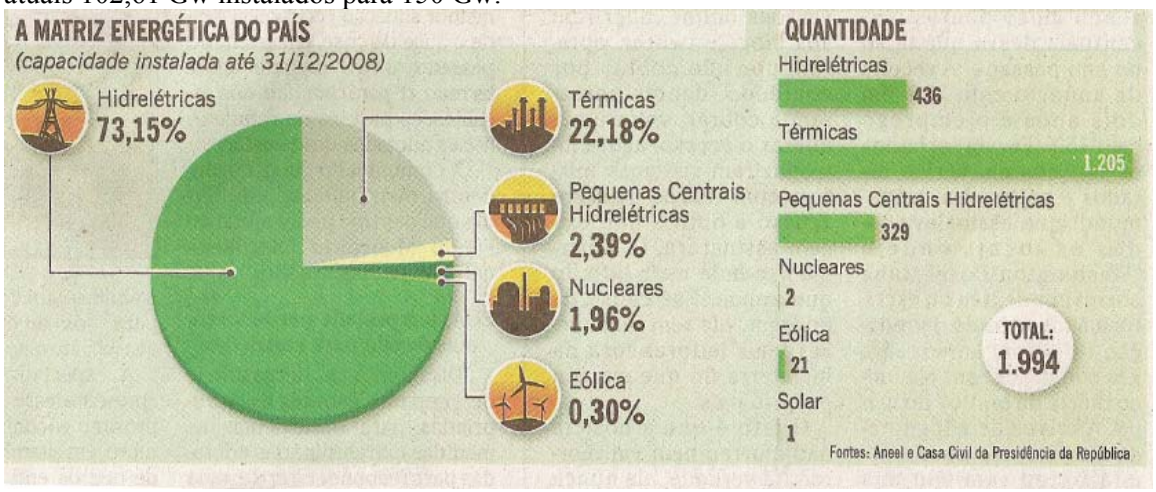


Gráfico 2 – Matriz Energética – Jornal o Globo 14/06/2009.

3. Biomassa

A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da energia solar absorvida pelas plantas (vida vegetal), já que resulta da conversão da luz do sol em energia química. Estima-se que existam dois trilhões de toneladas de biomassa no globo terrestre ou cerca de 400 toneladas por pessoa, o que, em termos energéticos, corresponde a oito vezes o consumo anual mundial de energia primária (produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como o petróleo, gás natural, carvão mineral, minério de urânio, lenha e outros) (BioWare, 2009).

Biomassa é ainda um termo pouco conhecido fora dos campos da energia e da ecologia, mas já faz parte do cotidiano brasileiro. Fonte de energia não poluente, a biomassa nada mais é do que a matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. A participação na matriz energética brasileira da biomassa é um quarto da energia consumida no País (BioWare, 2009). A EPE prevê que a cana de açúcar e seus derivados se tornem a segunda fonte de energia mais importante no Brasil. Com 19% de participação, ficarão atrás apenas do petróleo e derivados. No setor elétrico, o insumo agrícola deve gerar 6,3 mil MW. Por isso, da projeção de investimentos até 2030, US$32 bilhões estão planejados para a geração a partir do insumo agrícola (EPE, 2009). Em condições favoráveis a biomassa pode contribuir de maneira significante para a produção de energia elétrica. Segundo estimativas do pesquisador Hall a recuperação de um terço dos resíduos disponíveis viabilizaria o atendimento de 10% do consumo elétrico mundial e que com um programa de plantio de 100 milhões de hectares de culturas voltadas para essa finalidade seria possível atender 30% do consumo. Vista como uma das mais viáveis na geração de energia elétrica no Brasil, a biomassa possui muitas vantagens socioeconômicas. Ela é fonte nativa e renovável, dois importantes aspectos para a preservação do meio ambiente, inclusive contribui para a redução de queimadas em canaviais. O aproveitamento da biomassa para a geração de eletricidade do País ainda é tímido. Em meados de 2007, o Brasil possuía 271 empreendimentos com mais de 3,4 mil MW instalados. Com o bagaço de cana-de-açúcar era 225 unidades de geração, equivalente a 2,3 mil MW (Aneel, 2008). Seu uso ocorre, principalmente, em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica. Porém, a médio e longo prazo, a matéria-prima tende a apresentar outras

utilidades energéticas, devido à expectativa de exaustão de fontes não renováveis. A Tabela 1 apresenta a situação de empreendimentos termelétricos no Brasil, classificando por fonte e situação. O aproveitamento da matéria prima para a geração de Biomassa pode ser feito diretamente, por meio de:

- Combustão direta, com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra e outros;
- Processos termoquímicos, como gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação; ou
- Processos biológicos, como digestão anaeróbia e fermentação.

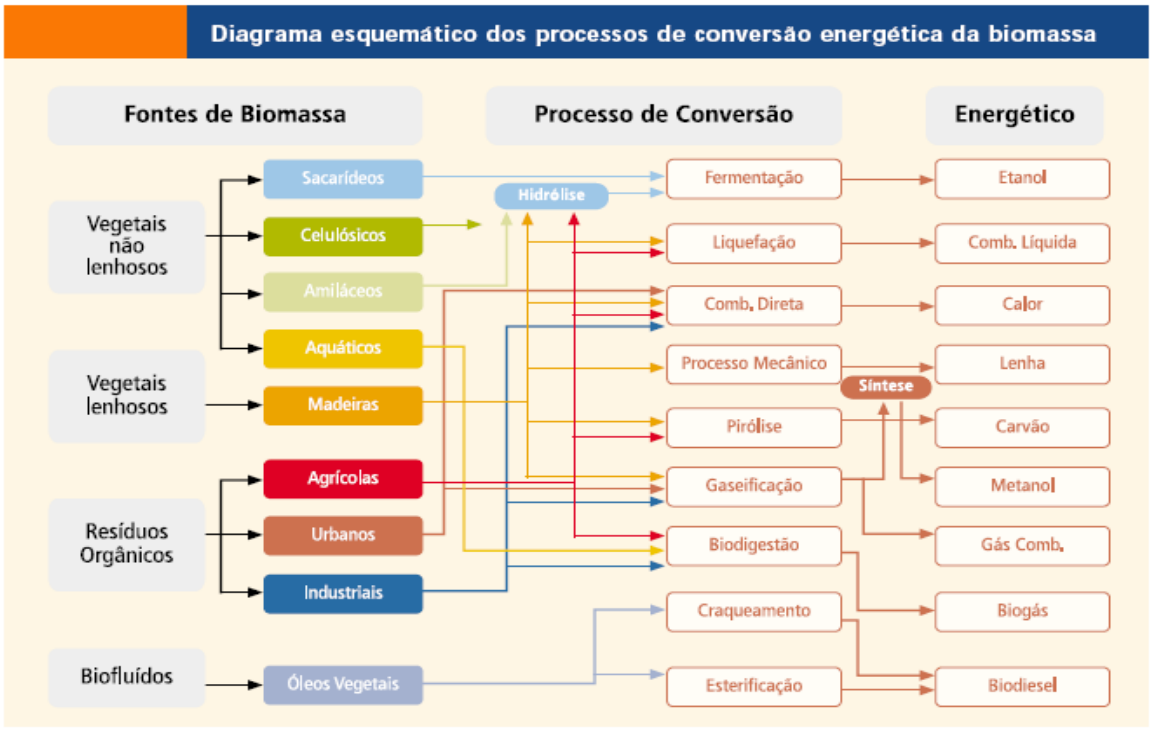
Combustível	Potência (MW)	Combustível	Potência(MW)
Lixo urbano e gás natural	600	Oleo e biomassa	70,2
Bagaço de Cana	391,15	Lixo urbano	26,3
Licor Negro	310,18	Biomassa e óleo combustível	8,8
Licor negro e biomassa	142,9	Lenha Picada	5,31
Biomassa	82,75	Biomassa e Bagaço de Cana	4
Total			1641,59

Tabela 1 – Empreendimentos Termelétricos no Brasil

3.1. Matéria-prima utilizada

Praticamente todos os organismos biológicos que podem ser aproveitados como fontes de energia são chamados de biomassa. Entre as matérias-primas mais utilizadas estão: cana-de-açúcar e derivados; como o bagaço e a palha da cana e o vinhoto; lixo urbano e esgoto; e resíduos agroindustriais, como casca de tora, cavacos de madeira, casca de babaçu, casca de arroz, sabugo, palha de milho e outros. A palha de arroz, por exemplo, é geradora de biogás que pode substituir o gás de cozinha (Valor Econômico, 2008). No Brasil a lenha ocupa a terceira posição em fonte de energia utilizada, sendo extraída das poucas reservas que restam no país. O bagaço e a palha da cana são matérias-primas de destaque como fontes energéticas nesse novo processo. Uma tonelada de cana contém a energia equivalente a 1,2 barris de petróleo, sendo que cerca de 1/3 dessa energia está armazenada quimicamente no caldo (açúcares) e o restante na biomassa de cana: metade no bagaço e metade na palha, aproximadamente (Revista Opiniões, 2008). O desenvolvimento da co-geração de energia, a partir da biomassa, impulsionada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA colocou o setor sucroalcooleiro em novo patamar de importância. Afirma-se que em pouco tempo as usinas não serão mais somente indústrias de açúcar e álcool, mas biorefinarias. O bagaço de cana tem um grande potencial como fonte renovável de energia, podendo ser utilizado não somente em caldeiras para geração de calor e eletricidade no processo industrial de fabricação de álcool e açúcar, mas também, na geração de excedentes de energia elétrica que podem ser comercializados. O aproveitamento da palha como recurso energético surge também como alternativa (Valor Econômico, 2008). A capacidade instalada no Brasil para produção de eletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar é de 2.822 MW, em mais de 250 usinas, representando aproximadamente 14% da capacidade termelétrica atual do País. As usinas termoelétricas respondem 22,18% do parque energético brasileiro, com oferta de 20.379 megawatts (MW). Outras 18 unidades estão em construção (mais 808 MW) e 107 estão aprovadas, num total de 9.536 MW. A maioria (57%) das termoelétricas ainda é movida a óleo diesel, o que dá a dimensão de quantas formas mais limpas de energia ainda podem ser instaladas, tanto que as térmicas alimentadas por bagaço de cana já ocupam o segundo lugar em número e em oferta de energia (2.664 MW). Existe o perigo que as emissões de gás carbônico das termelétricas subirão 172%, passando de 14,43 milhões de toneladas para 39,3 milhões de toneladas. Existe ainda a previsão de criação de 71 hidrelétricas. O potencial hidrelétrico a ser instalado será bem maior que o do novo parque termelétrico, com 28.938,5 MW. O gráfico 3 mostra um diagrama dos processos de conversão da matéria prima em biomassa. No estado de São Paulo existem 146 usinas de co-geração em operação, com potência instalada total de 1.700MW, o que corresponde a 70% da co-geração no Brasil. Parte dessa energia é utilizada para atender a necessidade das usinas e o resto é vendido no mercado (Revista Opiniões, 2008). Bagaço co-geração descreve o uso de resíduos com muita fibra como o bagaço de cana de açúcar para gerar energia elétrica de

alta eficiência nas fábricas de açúcar. Existe abundante oportunidade para uma ampla utilização do bagaço de cana como base na cogeração nos países produtores de cana e de contribuir substancialmente para a elevada eficiência produção energética. No entanto, este potencial permanece largamente inexplorado.



Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Brasília: MME, 1982. (adaptado)

Gráfico 3 - Processos de conversão energética da biomassa (fonte site Aneel)

A Tabela 2 mostra, os países que possuem maior capacidade para produzir energia por meio do bagaço de cana. A biomassa possivelmente é uma das mais viáveis na geração de energia elétrica no Brasil, a biomassa possui muitas vantagens socioeconômicas. Ela é fonte nativa e renovável, dois importantes aspectos para a preservação do meio ambiente, inclusive contribui para a redução de queimadas em canaviais. Em colheitas mecanizadas, as pontas e a palha da cana não precisam ser queimadas e podem ser usadas para a produção de energia elétrica. Em São Paulo, onde a Lei nº 11241, de setembro de 2002, determina a eliminação da prática de queima em canaviais, este estado possui o índice de mecanização de 45%. No Centro Sul do País, a média é de 36%.

País	**Produção de Cana de açúcar**	**Potencial de Eletricidade em Gwh por ano**
Brasil	386232000	38623
Índia	290000000	29000
China	93900000	9390
Tailândia	74071952	7407
Paquistão	52055800	5206
México	45126500	4513
Colômbia	36600000	3660
Austrália	36012000	3601
Cuba	34700000	3470
E.U.A	31178130	3118
Filipinas	25835000	2584
Outros	244581738	24458
Total	**1350293120**	**135030**

Tabela 2 - Países com capacidade de produção de energia (fonte ANEEL)

O uso da biomassa pode colaborar para a redução de gases do efeito estufa, causador do aquecimento global, o uso de matéria orgânica tem caráter de desenvolvimento sustentável. O aproveitamento da biomassa para a geração de eletricidade do País ainda é tímido. Em 2007, o Brasil possuía 271 empreendimentos com mais de 3,4 mil MW instalados. Com o bagaço de cana-de-açúcar era 225 unidades de geração, equivalente a 2,3 mil MW. Seu uso ocorre, principalmente, em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica. Porém, a médio e longo prazo, a matéria-prima tende a apresentar outras utilidades energéticas, devido à expectativa de exaustão de fontes não renováveis. Do ponto de vista financeiro, a co-geração de bagaço de cana é um clássico de ganha – ganha para a indústria do açúcar, pois ela possui inúmeras vantagens em relação às tradicionais fontes de geração de energia elétrica. A co-geração de energia elétrica a partir do bagaço é atraente, uma vez que combina baixo custo, eficiência e benefícios sociais com a com uma energia limpa, ou seja, uma fonte de energia que possui um processo de produção que não polui o ambiente, e energia renovável. A co-geração do bagaço de cana de açúcar, especialmente o processo de geração de energia feito em alta temperatura e pressão, poderia desempenhar um papel importante no sentido de incentivar o uso mais eficiente dos recursos e aumentar o acesso da população ao serviço de eletricidade. Até recentemente, cerca de dois terços dos bagaços da cana de açúcar colhida foram desperdiçados, está situação tem melhorado agora, com a introdução da elevação da tarifa da compra de energia da biomassa em países como o Brasil e a Índia. Os benefícios e as vantagens da co-geração de bagaço são:

- Aumentando a viabilidade das fábricas de açúcar;
- Custos dos combustíveis praticamente nulos, pagos em moeda local e acarretando a valorização de resíduos de bagaço como um produto;
- O aumento da eficiência do combustível;
- O aumento da diversidade e segurança do fornecimento de eletricidade;
- Mais emprego para as populações locais;
- Maior disponibilidade de energia elétrica;
- Fornecimento de energia "mais seguro e de confiança" para os consumidores já existentes.

4. Apoio Multicritério à Decisão (AMD)

No modelo para tomada de decisão estão compreendidos os seguintes componentes: critérios, pesos e as classificações que são dadas para cada alternativa, em cada critério. Pressupondo o conhecimento das preferências dos atores da decisão e a qualidade da avaliação, pode-se admitir que uma ação seja tão boa, melhor ou pior que outra, ou seja, hierarquizar as alternativas. O AMD permite a priorização de alternativas em uma situação de critérios conflitantes, buscando satisfazer as restrições com objetivos conflitantes (Buchanan e Gardiner, 2003), ou seja, uma solução de compromisso. Assim sendo, o AMD pode fornecer mecanismos para o apoio à negociação e/ou decisão em grupo. Salienta-se que o AMD começa a busca da(s) alternativa(s) de solução do problema pelas alternativas não-dominadas (Marmol *et al*, 2002), ou seja, alternativas que superam outras alternativas em todos os critérios, evidenciando a hierarquia de preferência das alternativas. Matsatsinis e Samaras (2001) afirmam que os métodos do AMD são uma excelente ferramenta para redução dos conflitos interpessoais quando o objetivo é obter o consenso, uma vez que busca a minimização de conflitos individuais. Um grande obstáculo a qualquer processo de decisão em grupo e mais ainda na negociação é que cada participante tem a sua percepção do problema alterada de acordo com os resultados possíveis da decisão ou negociação. A percepção das diferenças de visões do problema e/ou preferências individuais aparece quando se pretende criar um modelo que agregue as preferências do grupo, baseado nas preferências individuais (Bishop et al, 2008). De acordo com o AMD o Critério é um eixo de comparação das alternativas, e é expresso de forma qualitativa ou quantitativa, considerando os pontos de vista, objetivos, aptidões ou entraves relativos ao contexto real, permitindo o julgamento das ações potenciais. A família de critérios deve considerar todos os atores considerados no processo decisório, ou seja: decisores, agentes, facilitadores e analistas (Gomes *et al*., 2009) para continuar o apoio à decisão e deve conter um número suficientemente "pequeno" de critérios que permita, em uma análise intercritério, obter informação necessária

para implementar um processo "de agregação" (Gomes *et al.*, 2009). No contexto do AMD, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado entre quatro tipos de problemática de referência, descritas a seguir:

- *Problemática P*.α – tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto tão restrito quanto possível, tendo em vista a escolha final de uma única ação. Esse conjunto conterá as "melhores ações" ou as ações "satisfatórias". O resultado pretendido é, portanto, uma escolha ou um procedimento de seleção;
- *Problemática P*.β – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas *a priori* com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado pretendido é, portanto, uma triagem ou um procedimento de classificação;
- *Problemática P*.γ tem como objetivo esclarecer a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências. O resultado pretendido é, portanto, um arranjo ou um procedimento de ordenação;
- *Problemática P*.δ – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas conseqüências. O resultado pretendido é, portanto, uma descrição ou um procedimento cognitivo.

Deve-se ressaltar que as problemáticas definidas anteriormente não são independentes umas das outras. Em particular, a ordenação das alternativas (P.γ) pode servir de base para resolver um problema P.α ou P.β. Na prática, muitos métodos multicritério, sobretudo aqueles desenvolvidos nos anos 70 e princípio dos anos 80, privilegiaram a problemática P. γ. O caso em estudo neste trabalho é o P.γ.

4.1. Sistema de Apóio à Decisão (SAD) THOR.

O SAD THOR é baseado em três algoritmos para usar simultaneamente, Teoria da Utilidade, Modelagem de Preferência e Teoria de Multi-atributo. O uso destas teorias permite que a atratividade de uma alternativa seja quantificada, pela criação de uma função agregação não-transitiva. Uso do termo SAD, deve-se ao fato do Software que implementou o Thor, apresentar um banco de modelos, pois possui três algoritmos para ordenação bem como usa o Rough Set (Teoria dos Conjuntos Aproximativos) como dataminig; possui um banco de dados, denominado Firebird, e uma interface de comunicação construída na linguagem Delphi7.

A descrição do algoritmo THOR e do software que lhe dá suporte e aplicações estão em: Alencar et al (2005), Gomes et al (2000, 2001, 2005, 2006 e 2008), Nunes et al (2003), Xavier et al (2004), Fellipo e Gomes (2005), Lira et al (2006) e Cardoso et al (2009). Estas referências sugerem aplicação do THOR neste processos de ordenação.

4.2. Destilação

A técnica de destilação ordena a informação de duas diferentes formas:

- Uma *ordenação descendente* é obtida por um algoritmo que primeiro seleciona a melhor opção e elimina essa opção do processo decisório; posteriormente refaz o processo de decisão, eliminando a que se apresenta como melhor, até chegar à pior opção;
- Uma *ordenação ascendente* é obtida por um algoritmo que primeiro seleciona a pior opção e elimina essa opção do processo decisório; posteriormente refaz o processo de decisão, eliminando a que se apresenta como pior, e finaliza com a melhor opção

5. Estudo de caso

Os estudos que seguem têm como objetivo auxiliar, uma empresa, no processo de tomada de decisão de qual tipo de Biomassa deverá ser utilizada, para gerar energia. Será utilizado o SAD THOR. Foram selecionados cinco tipos de Biomassa que são produzidas no Brasil, e possíveis de serem utilizadas pela empresa que financiou o estudo.

1) Bagaço de Cana de Açúcar: é um dos subprodutos da indústria da cana, assim como a sacarose e a palha. É constituído por celulose, hemicelulose e lignina. Atualmente o bagaço gerado na usina é consumido para produção de energia por meio da co-geração, tornando a usina auto-sustentável energeticamente e, em alguns casos, sobra energia para venda de eletricidade. O bagaço pode servir também como matéria prima na produção de etanol por meio da hidrólise

ácida ou enzimática, nas quais as frações celulose e hemicelulose são convertidas a hexoses e pentoses. Após processos de purificação a mistura obtida pode ser fermentada para produção do etanol.
2) Licor Negro: ou Lixívia Negra é um fluído processual produzido à saída do digestor, um elemento que é responsável pela cozedura da madeira para retirar componentes indesejáveis ao processo de fabricação do papel, tais como lenhina, extrativos e cinzas.
3) Resíduos de Madeira: sobras de qualquer tipo de madeira.
4) Biogás: é um tipo de mistura gasosa de dióxido de carbono e metano produzidos naturalmente em meio anaeróbico pela ação de bactérias em matérias orgânicas, que são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez.
5) Casca de Arroz: o arroz colhido é transportado com casca para a usina. Ao longo de um ano, aproximadamente 15% da casca produzida são destinados à secagem do arroz, atividade que ocorre principalmente no período de colheita (janeiro a abril). A secagem se concentra nesses meses, consumindo 60% da casca recolhida. Estima-se que, de toda a casca produzida ao longo de um ano, apenas 50% podem ser utilizados na produção de eletricidade, uma vez que, além dos 15% destinados à secagem, cerca de 35% estão disponíveis em pequenas indústrias, espacialmente dispersas. A casca é um material de densidade muito baixa, sendo o transporte viabilizado apenas para frete de retorno.

O estudo identificou quatro critérios que permitem a comparação entre as alternativas.
1) Números de Usinas: Total de números de usinas em operação do Brasil até setembro de 2008, segundo a Agencia Nacional de Energia.
2) Potência: Total de megawatts produzidos atualmente no Brasil, segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica.
3) R$/MW: O valor da energia contratada em leilão em reais por megawatts hora.
4) Produção: Produção média por usina corresponde ao total de MW produzidos de cada tipo de Biomassa divididos pelo número total de usinas de cada tipo de biomassa.
A tabela 3 apresenta os tipos de biomassas estudados e a classificação em cada critério.

Alternativas/critérios	Usinas	Potência	R$/MW	Produção
Licor Negro	13	859	117	66
Bagaço de Cana	248	3116	156	13
Biogás	3	42	85	14
Resíduos de Madeira	27	231	160	1,5
Casca de Arroz	3	21	102	9

Tabela 3 – Biomassas e critérios analisados

A tabela 4 apresenta na primeira coluna os critérios e na segunda coluna os pesos atribuídos a cada critério. Esses pesos representam a importância de cada critério, e foram obtidos pelo uso de entrevistas com os decisores, e utilização do módulo do SAD-THOR para elicitação de pesos junto a estes decisores.

Nome do critério	Peso do critério
Usinas	1
Potência	3
R$/MW	4
Podução	2

Tabela 4 – Estudo com os pesos

O valor da energia vendida em reais por megawatts hora(R$/MW) é considerado como o critério de maior importância, e recebeu o valor do peso igual a 4. É vantajoso para os consumidores finais se a energia produzida for vendida a um preço acessível. Busca-se assim resolver o problema da escassez de energia com preço acessível. O segundo critério de maior peso nessa avaliação foi o de Potência com o peso 3, na visão dos decisores deve se levar em consideração o tipo de biomassa mais produzido em nosso país. O terceiro critério de maior peso foi o de Produção com o peso 2. Este critério, média de MW que cada usina em produção hoje no Brasil gera, na visão dos decisores não adiantaria ter muitas usinas de certo tipo de biomassa se cada

usina produz uma quantidade insignificante de energia. O critério de menor peso nesse estudo foi o critério número de usinas que ficou com o peso 1.
Observação: o valor de P foi escolhido como aproximadamente 1% do valor da melhor alternativa classifica no critério, e o valor de Q foi arbitrado metade do valor de P (Tabela 5)

Nome Critério	Valor P	Valor Q
Usinas	2	1
Potência	31,00	15,00
R$/MW	1,60	0,80
Produção	0,66	0,33

Tabela 5 - Limiares de Preferência

Para maiores esclarecimentos sobre Limiares de Preferência, consulte Gomes et al (2009)
A aplicação dos dados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 no SAD THOR gerou as ordenações constantes nas Tabelas 6 e 7.

	Ordenação S1	Pontuação
1	Bagaço de Cana	3,2
2	Licor Negro	2,5
3	Resíduos da Madeira	2,3
4	Biogás	0,5
5	Casca de Arroz	0,5

Tabela – 6 -Resultado 1 do Estudo, ordenação S1. A ordenação S2 foi idêntica a S1.

	Ordenação S3	Pontuação
1	Bagaço de Cana	3,2
2	Licor Negro	2,5
3	Resíduos da Madeira	2,3
4	Biogás	0,6
5	Casca de Arroz	0

Tabela 7 – Resultado da ordenação S3

A alternativa Bagaço de Cana foi a escolhida.

5.1. Análise de Sensibilidade

Para Licor Negro: a alteração do Peso do critério Produção de 2 para 8 ou superior acarretará uma preferência pela alternativa Licor Negro (Tabela 8).

ALTERNATIVA	Ordenação S1	Ordenação S2	Ordenação S3
Licor Negro	3,1875	3,1875	3,1875
Bagaço de Cana	2,75	2,75	2,75
Biogás	1,5	1,6875	1,75
Resíduos da Madeira	1,5	1,5	1,5
Casca de Arroz	0,5	0	0

Tabela 8 – Análise de Sensibilidade para Licor Negro

Para Resíduo de Madeira: Resíduo de Madeira é a alternativa preferida se mudar o peso do critério R$/MW de 4 para 7 ou superior (Tabela 9).

ALTERNATIVA	Ordenação S1	Ordenação S2	Ordenação S3
Resíduos da Madeira	3	3	3
Bagaço de Cana	2,692307949	2,692307949	2,692307949
Licor Negro	2	2	2
Casca de Arroz	0,538461983	0,538461983	0,615384996
Biogás	0	0	0

Tabela 9 – Análise de sensibilidade para resíduo de madeira

Desta forma verifica-se que Bagaço de Cana fica sempre entre as duas alternativas mais preferidas. Verifica-se que aplicando o módulo de data-mining que utiliza a Teoria dos Conjuntos Aproximativos (TCA) do SAD-THOR, que busca eliminar critérios "irrelevantes", nos estudos

anteriormente feitos, a TCA sugeriu que o Critério Número de Usinas pode ser retirado sem que haja alteração da ordenação, logo este critério é considerado irrelevante.

5.1.1 Destilação – Teoria dos Conjuntos Aproximativos (TCA)

Foi feita uma análise de sensibilidade utilizando o conceito de destilação descendente, eliminando a alternativa casca de arroz que ficou em última dois terços das ordenações (Tabelas 6 a 8), e ficou em penúltimo em um terço das ordenações (Tabela 9). Foi retirado o critério Número de Usinas, considerado irrelevante pela análise com uso da TCA (Gomes et al 2009)(Sikder, e Munakata, 2009). Posteriormente foi alterado o Peso do critério Produção de 2 para 5, valor intermediário entre 2 e 8; e alterado o peso do critério R$/MW de 4 para 5,5, valor intermediário entre 4 e 7 (Tabela 10). Observação: as alterações de pesos foram acordadas com os decisores. O resultado é apresentado na Tabela 11. Esta análise sugeriu/confirmou a preferência por Bagaço de Cana, ficando Licor Negro como segunda opção, Resíduos de Madeira Terceiro e Biogás como quarta.

Nome do critério	Peso do critério
Potência	1
R$/MW	5,5
Podução	5

Tabela 10 – Análise de sensibilidade

ALTERNATIVA	Ordenação S1	Ordenação S2	Ordenação S3
Bagaço de Cana	1,652173996	1,652173996	1,652173996
Licor Negro	1,521739006	1,521739006	1,521739006
Resíduos da Madeira	0,565217018	0,565217018	0,565217018
Biogás	0	0	0

Tabela 11 – Resultado gerado do estudo

6. Considerações finais, conclusão e sugestões

A crise financeira que o mundo vem enfrentando acarretou uma diminuição na projeção de crescimento do nosso país, causando uma provável diminuição no crescimento da demanda por energia. O Brasil teve uma variação negativa no crescimento do PID no último trimestre de 2008 e primeiro trimestre 2009, colocando o país tecnicamente em recessão. Isto postergará um possível racionamento para o ano de 2014. É preciso ressaltar que isto Brasil não livra o Brasil do racionamento, logo, é uma importante questão a ser solucionada. É preciso que o país invista no setor de geração de energia elétrica, que diversifique sua matriz energética e principalmente que incentive a geração de energia de fontes limpas e renováveis. A co-geração de energia elétrica a partir do bagaço mostra-se atraente, uma vez que combina baixo custo, eficiência e benefícios sociais uma energia limpa; uma fonte de energia que possui um processo de produção que não polui o ambiente, e renovável. Hoje o Brasil é um dos principais produtores de Etanol no mundo, combustível oriundo da cana-de-açúcar. Sendo que o bagaço da cana de açúcar não faz parte do processo produtivo do etanol nem do açúcar, que é outra indústria de importância no Brasil. A co-geração do bagaço de cana, especialmente o processo de geração de energia feito em alta temperatura e pressão, poderia desempenhar um papel importante no sentido de incentivar o uso mais eficiente dos recursos e aumentar o acesso da população ao serviço de eletricidade. Neste estudo a biomassa feita com o bagaço de cana foi a que mais se destacou. É importante que se ressaltar também que apesar de considerar a biomassa uma excelente fonte de energia para o Brasil, não se pode defender a idéia de se investir apenas nessa fonte de energia. A solução para a possível falta na oferta de energia em nosso país deve o investimento em um conjunto de fontes de energia limpa e renovável.

7. Referências Bibliográficas

Alencar, L. H., Gomes, C. F. S.; Costa, A. P. C. S. (2005). Gerenciamento de projeto na construção civil - estudo de caso utilizando o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) THOR. Pesquisa Naval, Brasília, v. 18, n. nov./2005, p. 110-117

Alves, J. O, (2007) *Eco-eficiência na produção de energia com biomassa de mamona: além do biodiesel,* Universidade de Salvador UNIFACS dissertação do programa de pós-graduação em engenharia mestrado em regulação da indústria de energia, Salvador, p.77-98, mar. 2007.

Ambiente Brasil - (2009) http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/artigos/petroleo_vida.html

Aneel – (2009) Agencia Nacional de Energia Elétrica – www.aneel.gov.br

BioWare – (2009) http://www.bioware.com.br

Bishop, I. D., Stock, C, Williams K. J. (2008) Using virtual environments and agent models in multi-criteria decision-making. Land Use Policy 26, 87–94,

Buchanan, J.; Gardiner, L. (2003) "A comparation of two reference point methods in multiple objective mathematical programming" *European Journal of Operational Research*, 149, 17-43.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE – http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx - 2009.

Fellipo, S., Gomes, C. F. S., (2005). Aplicação do multicritério na priorização de rodovias federais no contexto de um programa de recuperação ambiental. XXXVII SBPO, 2005, Gramado. p. 894-906.

Cardoso, R. ; Xavier, L. H. ; Gomes, C. F. S. ; Adissi, P. J. (2009) Uso de SAD No Apoio À Decisão na Destinação De Resíduos Plásticos E Gestão De Materiais. Pesquisa Operacional, v. 29, p. 67-95

Gomes, C. F. S., (2005). Using MCDA Methods THOR in an Application for Outranking the Ballast Water Management Options. *Revista Pesquisa Operacional*, V. 25, No. 1, p.11-28.

Gomes, C. F. S.; Gomes, L. F. A. M.; Valle, R (2001). Nova Proposta de Aplicação do Apoio Multicritério à Decisão (Algoritmo THOR) em Ordenação de Alternativas. ENEGEP-2001. V. 1.

Gomes, C. F. S.; Gomes, L. F. A. M.; Valle, R. (2000) Aplicação do THOR em um Processo de Seleção de Pessoal. *XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Viçosa.

Gomes, C. F. S.; Xavier, L. H.; Valle, R. (2008). "Multicriteria Decision Making Applied to Waste Recycling in Brazil", Omega - International Journal of Management of Science, v. 36, p. 395-404.

Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S., Almeida, A. T., (2009) Tomada de Decisão Gerencial o Enfoque Multicritério, Terceira Edição, Editora Atlas

Lira, C. F. A.; Mota, C. M. M.; Gomes, C. F. S.; (2006) Seleção de Contratos de Serviço na Construção Civil, *SPOLM-2006.* Rio de Janeiro, p. 187-194.

Maia, Ana Claudia Coenca. (2008) Proposta de Uso da Biomassa de Bagaço de Cana de Açúcar como solução para a escassez no fornecimento de energia no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Administração) - Faculdades IBMEC_Rj

Marmol, A. M.; Puerto, J; Fernández, F. R., (2002) Sequential incorporation of imprecise information in multiple criteria decision processes, EJOR, 137, pag 123-133

Matsatsinis, N. F., Samaras, A. P. (2001) MCDA and preferences disaggregation in group decision support systems, European Journal of Operational Research 130, pag 414 a 429, 2001.

Natureza Brasileira (2009) http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/meio_ambiente_brasil/clima/mudancas_climaticas_resultados/asust/rec/lielaoes/).

Nunes, K. R. A , Gomes, C. F. S. ; Valle, R.; (2003) Centrais de Reciclagem de RCD implantadas no Brasil: Uso da Metodologia THOR para avaliar desempenhos. SPOLM-2003, Rio de Janeiro

Planeta Sustentável (2009) http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_394752.shtml

Revista Opiniões. (2009) http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2008/A%20energia%20que%20vem%20da%20cana%20de%20acucar%20ultimo.pdf - 2008

Sikder, I. U. Munakata, T. (2009) Application of rough set and decision tree for characterization of premonitory factors of low seismic activity, Sceince Direct, Expert Systems with Applications 36, 102–110

Valor Econômico – (2008) Análise Setorial http://www.valoronline.com.br/
Wikipédia – (2009) http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal
Xavier, L. H., Gomes, C. F. S.; Valle, R.; Nunes, K. R. A.; Cardoso, R.; (2004). Multiple criteria decision making and environmental management through THOR system assessment: plastic material waste destination and performance evaluation of Brazilian construction and demolition waste recycling facilities – case studies. 2004, São João Del Rei.. p. 1054-1064.