

CULTIVOS FLORESTAIS COMO FONTE PRIMÁRIA PARA CÉLULAS COMBUSTÍVEIS

Sérgio Inácio Gomes

sergioig@copel.com

Copel - Companhia Paranaense de Energia

Av. Bento Munhoz da Rocha Neto, 896 - 87030-010, Maringá-PR - Brasil

Luiz Mário Matos Jorge

Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani

Paulo Roberto Paraíso

Wagner André dos Santos Conceição

Cid Marcos Gonçalves Andrade

Immj@deq.uem.br

ravag@deq.uem.br

paulo@deq.uem.br

wagner@deq.uem.br

cid@deq.uem.br

Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Engenharia Química

Resumo. As reservas de petróleo e de outros combustíveis fósseis irão se esgotar nas próximas décadas e/ou tenderão a terem seus custos muito altos e deverão ficar restritas a determinados usos. Além disso, o aquecimento global exige mudanças urgentes nas políticas energéticas, procurando fontes primárias renováveis e com baixo impacto, negativo, sobre o ambiente. Neste trabalho estudamos a viabilidade do uso de cultivos florestais para a produção de energia primária a ser utilizada em células combustíveis. Células combustíveis podem ser consideradas como acumuladores de energia, com a vantagem de serem altamente eficientes e pouco poluentes. Neste trabalho apresenta-se os princípios de um modelo matemático usado para a simulação das relações entre os fatores básicos de produtividade de cultivos florestais com os de geração de energia por meio de hidroelétricas, assim como o balanço de carbono. Buscou-se estabelecer relações entre inúmeras variáveis ao se considerar a importância destas relações no que se refere à preocupação com os aspectos sociais e ambientais. Os cultivos florestais se mostraram como uma alternativa viável como fonte primária de energia para células combustíveis, principalmente levando-se em conta os fatores ambientais e sociais. Palavras-chave: Cultivos florestais, Células combustíveis, Modelagem matemática.

FOREST PLANTATIONS HOW PRIMARY SOURCE FOR FUEL CELLS.

Abstract. The sources of petroleum and other fossil fuels will be exhausted in the coming decades and/ or tend to have their costs too high and must be restricted to certain uses. Moreover, global warming requires urgent changes in energy policies, looking for primary renewable sources with and low impact, negative, on the environment. This work studied the feasibility of the use of forest plantations for the production of primary energy to be used in fuel cells. Fuel cells can be regarded as an energy accumulator, with the advantage of being highly efficient and clean. In this work is presented the principles of mathematical modeling used for the simulation of relations between the basic factors of productivity of forest plantations with the generation of power through hydroelectric, and the balance of carbon. The aim was to establish relationships between many variables when considering the importance of these relations as regards the concern about the social and environmental aspects. The forest plantations were showed as a viable alternative as a primary energy source for fuel cells, especially taking into account the environmental and social factors. Keywords: Forest plantations, Fuel Cells, Mathematical Modeling

1. INTRODUÇÃO

Além do fato, conhecido, de que as reservas de depósitos fósseis deverão se esgotar ou terão seus preços proibitivos para o uso como combustíveis num futuro próximo, temos a urgente necessidade de diminuir o seu uso, devido aos evidentes problemas ambientais e/ou climáticos que seu uso tem causado ao planeta. Assim, faz-se mister o estudo e desenvolvimento de alternativas energéticas renováveis, menos poluentes e socialmente mais propícias. Segundo White & Plaskett (1981) a biomassa vegetal, na forma de madeira ou rejeitos secos, foi a primeira e durante muito tempo, a universal e única forma de combustível usado para o preparo de alimentos, aquecimento, e mais tarde, para a manufatura e até recentemente era abundante. Com o crescimento populacional e a demanda industrial estes suplementos se tornaram escassos e assim tivemos a necessidade de se mudar para combustíveis com maior densidade energética e de uso mais conveniente, como os combustíveis fósseis. Entretanto, o uso abusivo de combustíveis de origem fóssil tem causado problemas climáticos, que senão irreversíveis neste momento o serão com certeza no futuro, assim volta-se a atenção para fontes de energia limpas e renováveis como a biomassa. Dentro da perspectiva ambiental temos o problema da grande geração de CO₂ devido ao uso de combustíveis fósseis, que é o principal reponsável pelo aquecimento global. Assim, além da necessidade de se diminuir o consumo de combustíveis fósseis temos a necessidade de se sequestrar o CO₂ que tem se acumulado no planeta; conforme Randal & Dell (2008) tivemos um acréscimo de 25% na atmosfera terrestre do século XVIII até hoje, passamos de 280-300 ppmv (partes por milhão em volume) para 360-380 ppmv. Vanek & Albright (2008) propõe três principais formas de sequestro: o sequestro indireto (feito pelos cultivos florestais); o sequestro direto via estocagem geológica e o sequestro direto via conversão do CO₂ em materiais inertes. Cada um destes métodos apresentam vantagens e desvantagens. Do ponto de vista ecológico e social acreditamos que o sequestro indireto é o mais viável, principalmente para os países tropicais, onde temos grande incidência solar, e que tenham grandes extensões de terras agricultáveis. Muitas têm sido as formas e alternativas de uso de energias renováveis, como pode-se ver em Aßmann et al (2006) e em Rossillo-Calle et al (2007), porpostas. As principais contribuições apresentadas nestes trabalhos são de experiências ou estudos de casos para diferentes regiões ou países. São contribuições importantes, no entanto, carecem, na maior parte delas, de possibilidade de generalização. A possibilidade do uso de cultivos florestais para a geração de energia elétrica tem sido alvo de alguns estudos como pode-se encontrar em Hiser (1977); Klass (1981), White & Plaskett (1981), estes estudos, no entanto, são feitos mais voltados para os resíduos gerados em florestas do que propriamente em ter-se as árvores, da floresta, como fontes diretas para a geração de energia elétrica. Alguns trabalhos foram feitos neste sentido por Gomes et al (2006), Gomes et al. (2007a) e Gomes (2007b), o trabalho aqui desenvolvido vai mesma linha destes. A eletricidade é a energia cinética dos elétrons e não pode ser estocada desta forma. Ela pode, entretanto, ser transformada em energia potencial na forma de componentes químicos (como em uma bateria). O Hidrogênio, diferentemente da bateria, é um material já na forma de energia potencial e pode ser armazenado até que dele se queira fazer uso, que pode ser como combustível. As células combustíveis são aparatos de conversão eletro-química, que produzem eletricidade a partir de combustíveis. As células combustíveis a Hidrogênio, usam-no como combustível e o Oxigênio como oxidante. As células combustíveis, diferentemente das baterias podem ser alimentadas continuamente com o combustível. Krüger (2006) apresenta as quatro formas de se obter o Hidrogênio: Métodos Químicos, Eletrólise, Métodos Térmicos e Processos de Conversão Biológicos. Em todos os métodos existe, evidentemente, a necessidade de se usar energia. A Eletrólise é o único dos métodos onde o insumo, além da própria Água (fonte natural do Hidrogênio), é a eletricidade, esta é a alternativa considerada como limpa e sustentável. Neste trabalho apresentamos a opção de produzir energia elétrica, em usinas termoelétricas, tendo como combustível madeiras provenientes de cultivos florestais e usar esta energia como fonte primária para a produção de Hidrogênio por Eletrólise da Água. Para mostrar a viabilidade disto desenvolvemos um modelo matemático apto a simular a capacidade de produção de energia para diferentes tipos de cultivares, assim como a possibilidade de comparar seus rendimentos com o de uma usina hidroelétrica padrão que ocupasse a mesma área.

Destaque-se, em princípio, os grandes problemas ambientais e sociais que usinas hidroelétricas de grande porte tem gerado no mundo todo (Ola et al., 2006). Além do que, o plantio de florestas auxiliariam no sequestro de CO₂, uma vez que pode-se pensar num arranjo onde as árvores crescendo sequestram mais CO₂ do que o CO₂ que seria gerado com a queima da madeira. Os resultados das simulações mostraram que a opção de geração de energia elétrica via cultivos florestais, que poderá ser usada para a produção de Hidrogênio, pode ser viável em determinadas situações e levando-se em conta fatores como o sequestro de carbono.

2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO

2.1 Considerações gerais

Os dados de rendimentos de biomassa florestal podem ser estimados pela média histórica, em função da área plantada e das demais características das espécies cultivadas. Embora devam ser avaliados caso a caso visando a utilização de tais informações de forma adequada e compatíveis no modelo para simulação, a referida média histórica é um referencial estatístico confiável. Assim, a partir de tais valores médios, pode-se estimar o potencial energético oferecido pela silvicultura. A presente modelagem, também reproduz as características de conversão energética da biomassa florestal em energia elétrica baseada em instalações termoelétricas reais. O modelo matemático foi programado em ambiente de programação MATLAB®, em que se relacionam informações dispostas na forma matricial, conforme os princípios físico-químicos que os governam. Apresenta-se inicialmente variáveis características de plantações florestais, dispostas organizadamente em forma matricial, constituindo-se num banco de dados de características técnicas das diversas espécies de plantações florestais. Assim, o "poder calorífico superior em base seca da biomassa das espécies florestais", constitui-se na matriz "Pcs", bem como a "densidade básica das espécies florestais", em "Db" e, o "rendimento anual de biomassa das referidas espécies", na matriz "Pvf". Além do banco de dados, outra natureza de entrada de dados será a informação acerca das características da plantação desejada, como áreas cultivadas e suas respectivas espécies. A partir dessas duas naturezas de dados de entrada, a rotina de cálculo do programa, apresentará, no final, resultados em conformidade com as informações pertinentes às condições da plantação florestal e do processo termoelétrico conforme desejados. Assim como o sequestro (líquido) de Carbono que o cultivo florestal possibilita. No caso da presente solução, os dados simulados referem-se a rendimentos médios de formação de biomassa florestal típicos de solos paranaenses e basearam-se nas informações fornecidas pelo SIFLOR - Sistema de Informações de Planejamento Florestal, SIFLOR, (2002). O programa desenvolvido, devido a necessidade de solução quantitativa adotou parâmetros regionais ou de determinados locais, entretanto, nada impede que este mesmo programa, feitas novas adequações, possa ser generalizado.

2.2 Equacionamento

Produção de energia a partir dos cultivos florestais: de acordo com Mesquita et al., (2000), a curva da secagem da madeira obtida por experimentos pode ser descrita por uma equação logarítmica, conforme Eq. (1), cujo coeficiente de correlação com os valores medidos, foi de 98,3%, onde define-se a umidade em base seca, "Us", como a relação avaliada em "kgágua/kgmaterial(seco)" nas condições de queima, onde Ts é o tempo de secagem em dias.

$$Uu = -9,5269 \ln (Ts) + 60,928 \quad (1)$$

A curva de secagem avaliada em umidade média em base úmida (Uu), aplica-se às condições climáticas de Lavras (MG) durante o período do experimento e foi obtida por meio de um processo de secagem ao ar livre para a madeira serrada do Eucaliptus grandis. Entretanto, para efeitos de simplificação, essa mesma curva de secagem, será adotada no presente modelo de forma genérica para as demais espécies florestais consideradas. Pode-se escrever a umidade em base seca (Us) pela Eq. (2).

$$Us = 100 \left(\frac{Uu}{100 - Uu} \right) \quad (2)$$

Segundo (Horta et al., 2000), pode-se relacionar a dependência do poder calorífico inferior de diversas biomassas em relação à sua umidade em base seca pela Tabela 1.

Tabela 1 - Poder calorífico inferior de diversas biomassas

Umidade da Biomassa [%]	0	10	20	30	60	100	160
Poder Cal. Inf. (PCI) [MJ/kg]	18,7	16,8	15,2	13,8	10,8	8,2	5,7

Além disso, para efeitos do estabelecimento de um critério genérico dentro do presente modelo, pode-se estimar que o poder calorífico inferior em base seca da biomassa seja próximo à 85% do poder calorífico superior em base seca (Pcibs), coerente com muitos casos reais. Assim, pela Eq. (3), pode-se obter um modelo matemático que reproduz tal correlação de valores, com um polinômio de quarta ordem.

$$Pci = Pcibs [1 + 1,02 \cdot 10^{-9} (Us)^4 - 4,73 \cdot 10^{-7} (Us)^3 + 9,15 \cdot 10^{-5} (Us)^2 - 11,054 \cdot 10^{-3} (Us)] \quad (3)$$

Com base nas informações das entradas de dados, referidas anteriormente, pode-se obter estimativamente a "taxa mássica média de biomassa florestal por espécie plantada" (Bf) para alimentação de caldeiras na forma de combustível, matriz "Bf", em [ton/h], de acordo com a Eq. (4), onde "Pmpft", expressa em [ton/ano] é o "poder calorífico inferior médio da biomassa da plantação florestal na umidade antes da combustão", e o tempo de operação anual da usina em função de seu fator de disponibilidade, "Toa", expresso em [hs/ano].

$$Bf = \frac{Pmpft}{Toa} \quad (4)$$

Pode-se obter a "taxa mássica média global da biomassa florestal produzida", grandeza escalar "Bft", em [kg/h], pela Eq. (5).

$$Bft = 10^3 \sum_{i=1}^n Bf_i \quad (5)$$

Onde n é o número de espécies nos cultivos florestais. Pode-se também determinar o "poder calorífico médio", por meio da equação (6).

$$Pcm = \frac{\sum_{i=1}^n [10^3 (Pci)(Bf)_i]}{Bft} \quad (6)$$

Com isso, pela Eq. (7), pode-se estimar a energia elétrica média anual gerada pela termoelétrica a partir da biomassa produzida pela plantação florestal, em [GWh/ano], onde Rd é o rendimento da usina termoelétrica, ou seja, a relação percentual entre a potência útil efetiva de saída e a taxa de exergia de entrada, quando referidas à mesma unidade, [%].

$$Eg = \frac{10^8 (Bft)(Pcm)(Rd)(Toa)}{3,6} \quad (7)$$

Da equação (8), verifica-se que a "densidade energética média anual obtida por área da plantação florestal", em [GJ/ha.ano] é uma função do rendimento do processo, das espécies florestais plantadas e de suas respectivas áreas cultivadas.

$$E_a = 10^2 (R_d) (P_{cm}) \left[\frac{\sum_1^n (P_{vf})(D_b)(A_{ph})}{\sum_1^n (A_{ph})} \right] \quad (8)$$

Onde P_v é a matriz rendimento volumétrico médio anual típico de formação de biomassa das espécies florestais, [m³ sólido/ha.ano], D_b é a matriz densidade básica das espécies florestais, [g/cm³] e A_{ph} é a matriz distribuição de áreas por espécies de plantações florestais, [ha]. A seguir apresentamos um fator de comparação entre a energia gerada pelos cultivos florestais com a energia elétrica possível de ser gerada em função da mesma área, no caso da hidroelétrica, inundada. O aspecto mais relevante considerado como critério comparativo utilizado para retratar a diferença energética oferecida por ambas as alternativas, será a utilização produtiva da área, pois é nesse aspecto especial em que a hidroeletricidade apresenta sua principal restrição em termos de impactos ambientais e sociais, dada a formação dos lagos e indisponibilização de áreas. Assim, a presente comparação energética será feita considerando esse critério por meio do fator, representado por "Rdh", expresso em [%]. Portanto, o fator de comparação que será utilizado para relacionar quantitativamente o potencial energético oferecido pela presente alternativa das plantações florestais e a hidroeletricidade será baseado na relação percentual entre a densidade média anual de energia elétrica gerada em um sistema de cogeração por unidade de área da plantação florestal sob análise e a densidade média anual de energia elétrica gerada pela matriz hidroelétrica brasileira, como já foi dito anteriormente o uso da situação brasileira é usada apenas para se chegar a valores quantitativos, o modelo desenvolvido poderia ser usado para outros locais, por unidade de área inundada. Fator de comparação entre a energia gerada pelos cultivos florestais e a energia gerada por hidroelétricas: por meio da Eq. (9) pode-se determinar o referido fator de comparação "Rdh", conforme deduções constantes que pode-se encontrar em Gomes (2007b).

$$R_{dh} = 10 \frac{(A_r) (R_{cog}) (E_g)}{(A_p) (R_{end}) (E_h)} \quad (9)$$

Onde: A_r é o somatório da área total da superfície dos reservatórios brasileiros referente ano 2003, expresso em [km²]; A_p é a grandeza escalar referente a área total plantada no ano, expressa em hectares [ha]; E_g é a energia elétrica média anual gerada a partir da biomassa produzida pela plantação florestal, expressa em [GWh/ano]; E_h é a energia hidráulica média brasileira referente ano 2003, expressa em [TWh/ano]; R_{end} é o rendimento da usina termoeletrica convencional, ou seja, a relação percentual entre a potência útil efetiva de saída e a taxa de exergia da entrada do processo, quando essas grandezas estiverem referidas à mesma unidade, expressa em [%] e R_{cog} é o rendimento médio de um sistema de cogeração termoeletrica, ou seja a relação percentual entre a soma da eletricidade gerada com a energia térmica utilizada para consumo final próprio e a taxa de exergia aplicada na entrada do processo, quando essas grandezas estiverem referidas à mesma unidade, expressa em [%]. Pode-se realizar algumas simplificações na Eq. (9) para efeitos estimativos, coerente com os parâmetros do setor elétrico nacional, cujos dados e informações a serem considerados apresentamos abaixo, tomando-se o ano base de 2003.

As referidas simplificações no fator comparativo com o sistema hidroelétrico brasileiro serão consideradas nos estudos de casos. Os parâmetros do setor hidroelétrico nacional referidos, são os seguintes:

- A energia elétrica gerada no SIN (Sistema Interligado Nacional), por meio das hidroelétricas brasileiras naquele ano, ou seja, a grandeza "Eh", foi de 306 [TWh/ano], (ONS, 2004);
- A superfície total dos reservatórios do país, "Ar", era naquele ano, igual a 30.605 [km²], conforme pode-se verificar pelo somatório das superfícies dos reservatórios apresentados em Gomes (2007b);

Pode-se, com isso, conforme definições apresentadas em Gomes (2007), estimar o fator de densidade energética por unidade de área inundada pela hidroeletricidade, "Dh", referente ao sistema elétrico brasileiro no ano de 2003, em aproximadamente 10 GWh/km².ano. Da mesma maneira, pode-se também obter simplificações na Eq. (9) pela consideração do fato de que o rendimento típico de um sistema de cogeração termoelétrica situa-se em torno de 50% (Patusco, 1993). Inserindo-se as simplificações consideradas na equação genérica (9), referindo-se ao caso particular do setor hidroelétrico brasileiro, pode-se obter o fator "Rdh" por meio da equação (10), conforme considerações feitas em Gomes (2007b).

$$Rdh = \frac{\frac{(Rcog)}{(Rend)} \frac{(Ak)}{(Ap)} (Eg)}{\frac{(Eh)}{(Ar)} 1000} 100 \quad (10)$$

Onde Ak é a área de um quilômetro quadrado, expressa em [hectares]. Pode-se também comparar a densidade de potência (nominal) por unidade de área cultivada da plantação florestal com algumas hidroelétricas brasileiras, como serão considerados os casos excepcionais das usinas de Balbina e Sobradinho que, juntas, representavam em 2003, 21,5% da área total dos reservatórios do país e, suas respectivas densidades de potência nominais por unidade de área inundada, eram, respectivamente iguais a, 105,93 kW/km² e 249,17 kW/km², bem abaixo da média nacional verificada acima. Balanço de Carbono: a seguir apresentamos o equacionamento para a estimativa do balanço de Carbono, por meio das Eqs. (11) e (12) podemos estimar as emissões anuais equivalentes de CO₂ para a combustão de biomassa florestal, grandeza escalar "Eco₂", expressa em [tCO₂/ano], baseadas em critérios abordados em Gomes (2007b), obtendo resultados próximos a partir do conhecimento da "taxa de exergia média de entrada da caldeira (Exej)", expressa em [GJ/h] e do tempo de operação anual da usina em função de seu fator de disponibilidade, "Toa", expresso em [hs/ano]. Nessas equações, os fatores de emissões para caldeiras que trabalham com madeira como combustível, encontram-se expressos em [gCO₂/GJ] de energia liberada, sendo, 26.260 para o CO₂, 1.473 para o CO, 18 para o CH₄ e 112 para o NO₂. Para a utilização da Eq. (11) deve-se conhecer a eficiência da combustão, "Efc", e térmica, "Eft", do combustível, ambas expressa em termos percentuais [%].

$$Eco2 = 24,5 \cdot 10^{-3} (Exej)(Toa) \frac{Efc}{Eft} \quad (11)$$

$$Eco2 = 28,5 \cdot 10^{-3} (Exej)(Toa) \quad (12)$$

Por meio da Eq. (13) pode-se estimar a "massa total anual de carbono seqüestrado no processo de formação da biomassa florestal", grandeza escalar "Mco₂", expressa em [tCO₂/ano], que é uma função da matriz "Pmpf", referente ao "rendimento mássico médio anual de biomassa florestal por espécie plantada", expressa em [ton/ano] e da matriz "Cfx", referente ao "carbono fixado médio por espécie florestal", expresso em [%].

$$M_{co2} = \sum_{i=1}^n [(P_{mpf})(C_{fx})] \quad (13)$$

Assim, pela Eq (14), pode-se estimar o balanço de carbono, "Bco2", expresso em [tCO2/ano], como sendo a diferença entre a "massa total de carbono seqüestrado no processo de formação da biomassa florestal" e a "massa equivalente de emissões anuais de CO2".

$$B_{co2} = (M_{co2} - E_{co2}) \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estudo de caso I - Plantação florestal em 4.500 hectares, composta por sete espécies

Forestais em diferentes áreas plantadas. Considere-se a situação de uma plantação florestal, composta pelas espécies e respectivas áreas plantadas, conforme Tabela 2 e outras informações do processo, conforme Tabela 3.

Tabela 2 - Áreas e respectivas espécies florestais - Estudo de Caso I

Area (ha)	Espécie Florestal
870	Eucalyptus grandis
2150	Eucalyptus saligna
400	Mimosa scabrella (bracatinga)
220	Grevillea robusta
350	Hovenia dulcis (Uva-do-Japao)
590	Melia azedarach (Cinamomo-gigante)
420	Centrolobium tomentosum (Arariba)

Tabela 3 - Parâmetros de características do processo - Estudo de Caso I

tempo de secagem ao ambiente em [dias]:	45
rendimento da usina em [%]:	25

3.2 Estudo de caso II - Plantação florestal em 10.000 hectares, composta por 2 espécies florestais em diferentes áreas plantadas.

Considere-se a situação de uma plantação florestal, composta pelas espécies e respectivas áreas plantadas, conforme Tabela 4 e outras informações do processo, conforme Tabela 5. Tabela 4 - Áreas e respectivas espécies florestais - Estudo de Caso III

Área (ha)	Espécie Florestal
7500	Eucalyptus grandis
2500	Eucalyptus saligna

Tabela 5 - Parâmetros de características do processo - Estudo de Caso II

tempo de secagem ao ambiente em [dias]:	35
rendimento da usina em [%]:	26,5

3.3 Estudo de caso III - Plantação florestal sustentável típico da região amazônica na área equivalente ao reservatório da UHE Balbina (AM).

Sabendo-se que a Usina de Balbina, tem uma potência nominal de 250MW e seu reservatório ocupa uma superfície de aproximadamente, 2.360 km², pretende-se estimar quais seriam as potencialidades e características energéticas obtidas a partir de usinas termoeletricas a biomassa obtida por plantações florestais manejadas de forma sustentável. Segundo publicação do Instituto Florestal Tropical, reimpresso em 2004, utilizando-se de manejo florestal sustentável, obteve-se um rendimento de biomassa florestal médio de 25 m³/ha.ano por meio de projetos já existentes na região amazônica. Com essa finalidade considere-se a situação de plantações florestais com manejo sustentável, composto pelas espécies típicas da região amazônica e outras informações do processo definidas na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de características do processo - Estudo de Caso III

tempo de secagem ao ambiente em [dias]:	20
rendimento da usina em [%]:	25

3.4 Apresentação e discussão dos resultados apresentados nos caso I, II e III

Caso I: Para esta situação tivemos uma relação de geração de energia de: $Rdh=36.73\%$. E a capacidade de sequestro de oxigênio de 17.942 mil toneladas/ano (aproximadamente 4 toneladas por hectare plantado). Como pode-se ver o rendimento energético é superior a um terço do que seria gerado em uma hidroelettrica. Um valor considerado relevante se considerarmos que os cultivos florestais não apresentam os problemas sociais e ambientais que as hidroeletricas, principalmente as de grande porte acarretam. Além do fato de termos um significativo sequestro de Carbono. Importante também é o fato de que considerou-se sete espécies diferentes de cultivo, o que é um fator favorável à biodiversidade. Ressalte-se que fizemos considerações conservadoras, tanto para o tempo de secagem da madeira, como para o rendimento da usina. Caso II: Para esta situação tivemos uma relação de geração de energia de: $Rdh=38.97\%$. E a capacidade de captura de oxigênio de 42.272 mil toneladas/ano (temos aproximadamente 4,23 toneladas por hectare plantado) Neste caso, não temos a vantagem de diversificação de cultivos, no entanto o rendimento relativo aumenta, assim como o sequestro de Carbono. Ressalte-se que o fator de comparação deve ser o proporcional a área plantada. Aqui também o tempo de secagem e o rendimento são conservadores. Caso III: Neste caso um manejo florestal com espécies cuja formação de biomassa e características seriam equivalentes às do eucalipto, temos um incremento de 43% em relação a potência nominal da UHE Balbina (AM), com custos competitivos, que pode-se ver em Gomes (2007b). Associado à esses dados, há que se considerar os fatores econômicos e sociais devido à geração de empregos e de economia à região promovendo seu desenvolvimento. Além de aproximadamente 944.000 mil toneladas/ano de sequestro de Carbono. Aqui fica evidente que para determinados casos os cultivos florestais são amplamente mais favoráveis sob inúmeros aspectos a hidroeletricas já existentes.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho mostrou-se que é viável a geração de energia elétrica por meio de usinas termoeletricas, tendo como combustível cultivos florestais. Esta energia, elétrica, pode ser usada na geração de Hidrogênio, por meio de Eletrólise. Todas as etapas envolvidas são limpas e sustentáveis. Além do que, pelos resultados mostrados vemos que esta alternativa é amplamente favorável no sequestro de Carbono. Assim, nos parece de fundamental importância uma análise mais cuidadosa sobre os efeitos ambientais, sociais, ecológicos e econômicos envolvidos antes de se considerar a geração de energia elétrica por meio de hidroelettrica como a única e mais favorável numa determinada região.

REFERÊNCIAS

- Aßmann, D., et al., eds., 2006. Renewable Energy: A Global Review of Technologies, Policies and Markets. Earthscan. 320 p.
- Gomes, S. I., et al. 2006. Análise Preliminar da Viabilidade de Cultivos Florestais para Produção de energia Elétrica. Espaço Energia. n. 4, pp. 1-10.
- Gomes, S. I., et al. 2007a. Análise de Viabilidade de Plantações Florestais para Produção de Energia Elétrica. In: 3º Encontro Técnico-Científico da 7ª Ecolatina. Belo Horizonte, pp.1-6
- Gomes, S. I., 2007b. Análise de Viabilidade de Cultivos Florestais para fins de Produção de Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Engenharia Química. 121 p.
- Hiser, M. L. ed., 1977. Wood Energy: Proceedings of Governor Willian G. Milliken's Conference. Ann Arbor Science. 152 p.
- Horta, et al, 2000 - L A Horta Nogueira, E E S Lora, M A Trossero, T Frisk, Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações. ANEEL. 144 p.
- Klass, D. L. ed., 1981. Biomass as a Nonfossil Fuel Source. American Chemical Society. 564 p.
- Kruger, P., 2006. Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy. John Wiley & Sons. 248 p.
- Mesquita, J. B.; et al., 2000. Micobiota associada a madeira serrada de eucaliptus grandis Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. Ciência Florestal. v.16,n.1, pp.45-50.
- Olah, G. A., et al., 2006. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Wiley VCH, 290 p.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2004. Relatório Anual do ONS. 79 p.
- Patusco, J. A. M. Tratamento da Cogeração nos Balanços Energéticos. In: COBEN, pp. 1-6.
- Randal D. A. J. & Dell, R. M., 2008. Hydrogen Energy: Challenges and Prospects. RSC Publishing.
- Rosillo-Calle, F., et al., eds., 2007. The Biomass Assessment Handbook. Earthscan. 270 p.
- SIFLOR-SISTEMA DE PLANEJAMENTO FLORESTAL DO PARANÁ. 2002. www.floresta.ufpr.br. Vanek, F. M. & Albright, L. D., 2008. Energy Systems Engineering: Evaluation & Implementation. McGraw-Hill. 532 p.
- White, L. P. & Plaskett, L. G., 1981. Biomass as Fuel. Academic Press. 211 p.