



**IX**

**Encontro da Sociedade  
Brasileira de Economia  
Ecológica**

Brasília, 4 a 8 de Outubro de 2011

**Políticas Públicas e a Perspectiva da Economia Ecológica**

**IX ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO**  
Outubro de 2011  
Brasília - DF - Brasil

---

**A OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE MICROALGAS  
PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**

**Laryssa Ramos de Holanda** (UFPE) - laryssarholanda@hotmail.com

**Francisco de Sousa Ramos** (UFPE) - ramosfs@gmail.com

# **A OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE MICROALGAS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**

**Eixo temático:** A Economia Verde e as Inovações Tecnológicas Ambientais  
Indústrias não poluentes e ecologia industrial

**Resumo:** Este trabalho propõe um processo de produção de microalgas para geração de eletricidade, considerado como uma atividade conjunta com o etanol, de modo a suprir a elevação da demanda prevista de energia ocasionada pelo crescimento econômico do país. A produção dessa fonte de energia alternativa em conjunto com uma usina de etanol maximiza os ganhos de ambas, além de trazer benefícios ao meio ambiente, com as microalgas captando o dióxido de carbono emitido pela usina de etanol.

**Palavras - chave:** Etanol; crescimento econômico; meio ambiente; dióxido de carbono.

**Abstract:** This paper proposes a production of microalgae to generate electricity, considered as a joint activity with ethanol in order to meet rising demand provided energy caused by the country's economic growth. The production of this alternative energy source in conjunction with an ethanol plant maximizes the gains of both, and bring benefits to the environment, with the microalgae capturing the carbon dioxide emitted by the ethanol plant.

**Key - words:** Ethanol; economic growth, environmental, carbon dioxide.

## **1. Introdução**

Atualmente vem crescendo a importância de estudos que visam solucionar o problema que o crescimento econômico desvinculado de desenvolvimento e o consumo inconsciente nos causou: o aquecimento global, decorrente das excessivas emissões de gases na atmosfera.

Estudos afirmam que o crescimento econômico possui uma grande ligação com o consumo de energia elétrica, dado que quanto maior o poder aquisitivo do indivíduo menos satisfeito esse indivíduo estará com seus bens e passará a

comprar novos, e em maior quantidade, aparelhos eletroeletrônicos, o que gera um aumento na demanda por eletricidade (Andrade & Lobão, 1997).

Ao analisarmos o crescimento econômico brasileiro e o aumento da oferta interna de energia – OIE, percebe-se que na última década o Produto Interno Bruto (PIB) tem apresentado taxas de crescimento acima das da oferta de energia, levando a muitas discussões a respeito da capacidade de geração de energia elétrica do país. Além disso, o Ministério de Minas e Energia divulgou, em seu Plano Decenal de Expansão Energética 2007/2016, que estudos realizados por órgãos ligados ao setor energético nacional têm evidenciado a tendência de que a demanda por energia irá superar a capacidade de geração do país.

Essa questão do país ser ou não auto-suficiente no setor energético foi mais enfatizada com o evento do apagão que ocorreu em 2001, onde foram estabelecidos tetos de consumo de energia para todos os setores da economia nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, e nos estados do Pará, Maranhão e Tocantins.

Entre tantas fontes de energia surge uma nova fonte candidata a saciar o aumento na demanda por energia elétrica no país: a combustão da biomassa de microalgas.

A produção das microalgas reduz, através da fotossíntese, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em excesso existente na atmosfera, e devolve o oxigênio ( $\text{O}_2$ ), além disso, sua queima não libera mais  $\text{CO}_2$  do que é consumido, reduzindo assim o grave problema do efeito estufa.

Dentro do contexto de expansão energética no país, a produção de energia através das microalgas torna-se uma alternativa possivelmente viável, tendo em vista as condições propícias de temperatura e a grande costa litorânea brasileira.

O objetivo do trabalho é propor um processo de produção de energia elétrica através de microalgas, tentando resolver os problemas do déficit energético e do uso indiscriminado dos recursos naturais, diversificando a matriz energética brasileira.

## 2. As microalgas como fonte de energia<sup>1</sup>

As algas compreendem vários grupos de seres vivos aquáticos e autotróficos, ou seja, que produzem a energia necessária ao seu metabolismo através da fotossíntese. Podendo ser divididas em dois grandes grupos: microalgas e macroalgas. As macroalgas marinhas são mais populares por serem maiores e visíveis a olho nu. Já as microalgas se referem a microrganismos unicelulares algais que têm o corpo formado por um talo, isto é, desprovido de raiz, caule e folhas, e possuem clorofilas e/ou outros pigmentos fotossintéticos.

Esses microrganismos algais são a forma mais primitiva das plantas unicelulares, e foram responsáveis pelo fato que o mundo agora dispõe de oxigênio. Eles podem ser encontrados em meio marinho, água doce e no solo e produzem cerca de 60% da biomassa primária na terra.

As microalgas alimentam-se com dióxido do carbono, e com utilização da luz solar transformam o carbono em açúcares e posteriormente em gorduras. No processo liberam oxigênio, igual a todas as outras plantas, mas de forma mais eficiente.

O interesse no estudo de microrganismos fotossintéticos, como as microalgas, tem crescido nos últimos anos, pela importância destes nas diversas cadeias alimentares e pela possibilidade da aplicação comercial de diversas substâncias sintetizadas por estes microrganismos, como, por exemplo, em indústrias alimentar, química, cosmética e farmacêutica, e em áreas como na nutrição humana e animal.

Além da abrangente aplicação comercial citada, podem-se obter diferentes tipos de biocombustíveis. Estes incluem o metano, hidrogênio, bioetanol, ou biodiesel derivado do óleo extraído da biomassa.

As microalgas também podem gerar energia elétrica com eficiência. Este processo se dá através da queima da biomassa desses microrganismos, para cada tonelada de biomassa queimada 8,12 MWh são gerados. Essa seria uma alternativa sustentável para aumentar a oferta de energia elétrica no Brasil, pois a

---

<sup>1</sup> As informações contidas nesse capítulo foram retiradas de Mulder (2009), exceto quando se fizer referência a outros autores.

queima da biomassa algal não libera mais CO<sub>2</sub> do que foi consumida na produção, por isso se trata de uma energia de “emissão zero”.

O cultivo de microalgas pode ser realizado em condições não adequadas para a produção de culturas convencionais, não necessitando de terras aráveis ou férteis para produção, pois não utiliza o solo como habitat de sustentação. Este cultivo pode ser em meio salino, doce, ou ainda, em alguns casos, em águas residuais de processos industriais ou urbanos.

Para a produção de microalgas é necessário, principalmente de CO<sub>2</sub>, esses microorganismos apresentam eficiência fotossintética maior que os vegetais terrestres, com crescimento e acúmulo rápido de biomassa vegetal. Ou seja, produzem mais biomassa por hectare em menos tempo. As microalgas também são eficientes fixadoras de carbono atmosférico, fixam mais carbono através da fotossíntese em muito menos tempo. Estima-se que cada tonelada de biomassa algal produzida consome cerca 1,7 toneladas de CO<sub>2</sub> através da fotossíntese. Isso representa de vinte a quarenta vezes mais do que o absorvido pelas culturas oleaginosas.

Além de dióxido de carbono o cultivo de microalgas precisa de luz para realizar fotossíntese, que para minimizar custos a produção deve contar com a luz solar livremente disponível, apesar das variações diárias e sazonais nos níveis de luz. A temperatura propícia para a produção deve permanecer entre 25°C e 35°C, que é a temperatura normal do nordeste brasileiro. Por fim, para o crescimento desses microorganismos, são necessários nutrientes, como ferro, potássio, fósforo e nitrogênio.

A natureza unicelular desses seres assegura uma biomassa com mais pureza bioquímica, ao contrário das plantas terrestres que tem compostos diferentes em diferentes partes do vegetal (frutos, folhas, sementes e raízes).

As microalgas possuem produção contínua, ou seja, não segue regime de safra e a colheita é diária. A *Nannochloropsis oculata* ou *Chlorella vulgaris* são algas de alta produção, com períodos de dobragem variando de 4 a 24 horas.

No cultivo de microalgas podem ser utilizados resíduos de outras produções, como águas residuais contaminadas com resíduos orgânicos de processos industriais, e o sequestro do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) - mitigação dos

efeitos nocivos da atividade industrial. A exemplo desse processo o projeto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Furg) implantou na usina a carvão de Candiota 14 tanques postados ao lado da termoelétrica que servirão para a criação das algas, com o intuito de capturar parte das emissões de gases desta usina.

Atualmente muitos pesquisadores e produtores comerciais vêm desenvolvendo diversas tecnologias de cultivo utilizadas para produção de biomassa de microalgas. Esses sistemas de produção podem ser divididos em dois grupos: os a céu aberto (exposição total ao ambiente) e o cultivo em fotobiorreatores.

O cultivo em sistemas de tanques a céu aberto tem sido usado desde a década de 1950 e é o mais utilizado atualmente, porque eles custam menos para construir e operar. Geralmente é um canal de circuito fechado de recirculação, construído de concreto e chão batido, podendo ser forrado com plástico branco. Com cerca de 30 cm de profundidade, possui uma roda de pás que opera o tempo todo para impedir a sedimentação. Diariamente a cultura é alimentada continuamente na frente da roda de pás, onde o fluxo começa, como pode ser observado na Figura 01.

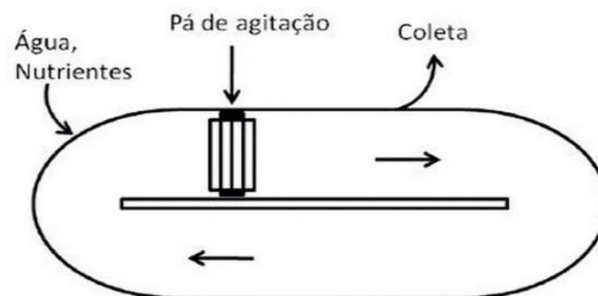


Figura 01: Esquema de um tipo de cultivo a céu aberto.

Fonte: Chisti (2007)

Segundo Teixeira & Morales (2006), esse tipo de cultivo permite colheitas anuais de cerca de 180 toneladas por hectare. A produtividade é reduzida pela possibilidade existente de contaminação (competição) e predação por parte de outros microrganismos. É um sistema pouco sofisticado, pela impossibilidade de controlar parâmetros biológicos e físico-químicos. Por ser um sistema a céu aberto

a captação do CO<sub>2</sub> não é eficiente, havendo perdas para atmosfera. Neste tipo de cultivo o consumo de água é superior além dos circuitos ocuparem muito espaço.

Por outro lado, o cultivo em fotobiorreatores proporciona um volume maior da produção, por ser possível garantir intervalos ótimos de parâmetros que favorecem o crescimento das espécies, além de se obter, pela ausência de contaminação, um produto final (biomassa algal) semelhante à produzida anteriormente, de modo a garantir a qualidade e quantidade dos compostos a extrair.

A produção de microalgas dentro de um fotobiorreator cria um ambiente propício em termos de luminosidade e temperatura à produção de microalgas que constituirão a matéria-prima para a produção de biomassa.

Um fotobiorreator tubular consiste de uma matriz de tubos transparentes que são montados e alinhados em postos, e normalmente são feitos de plástico, PET, acrílico ou vidro. Os tubos são coletores solares que geralmente possuem 10 cm de diâmetro ou menos. O diâmetro do tubo é limitado porque a luz não penetra tão profundamente no caldo denso da cultura, o que é necessário para garantir uma alta produtividade da biomassa no fotobiorreator.

Os tubos são colocados em horizontal paralelamente uns aos outros, são muitas vezes organizados como uma cerca, na tentativa de aumentar o número de tubos que podem ser acomodados em uma determinada área. O chão embaixo do coletor solar é muitas vezes pintado de branco para aumentar a refletância. Como pode ser observado na Figura 02, o caldo de microalgas é distribuído a partir de um tanque para os tubos e depois retorna para o tanque de recirculação.

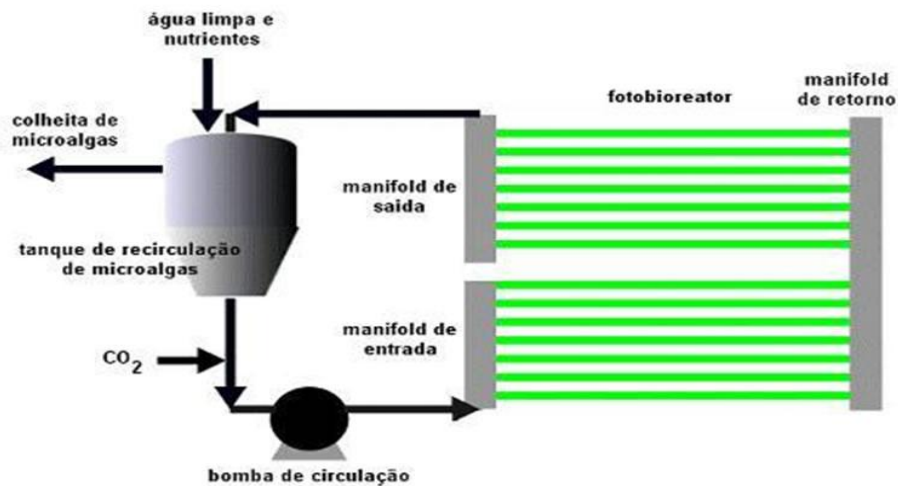


Figura 02: Esquema dos fotobiorreatores

Fonte: Excalibur Project (2010)

Uma bomba, um sistema de válvulas e ligações adequadas permitem a passagem e controle do fluxo entre os reatores e o tanque. As microalgas reproduzem-se a um ritmo elevado nos tubos do fotobiorreator e, seguidamente vão para o depósito sendo, no momento propício, colhidas no fundo, e canalizadas para um dispositivo que separa as microalgas da água. A água deve ser reutilizada para aproveitar os nutrientes nela contida e reduzir o consumo de água, esse processo pode ser melhor visualizado na Figura 03.

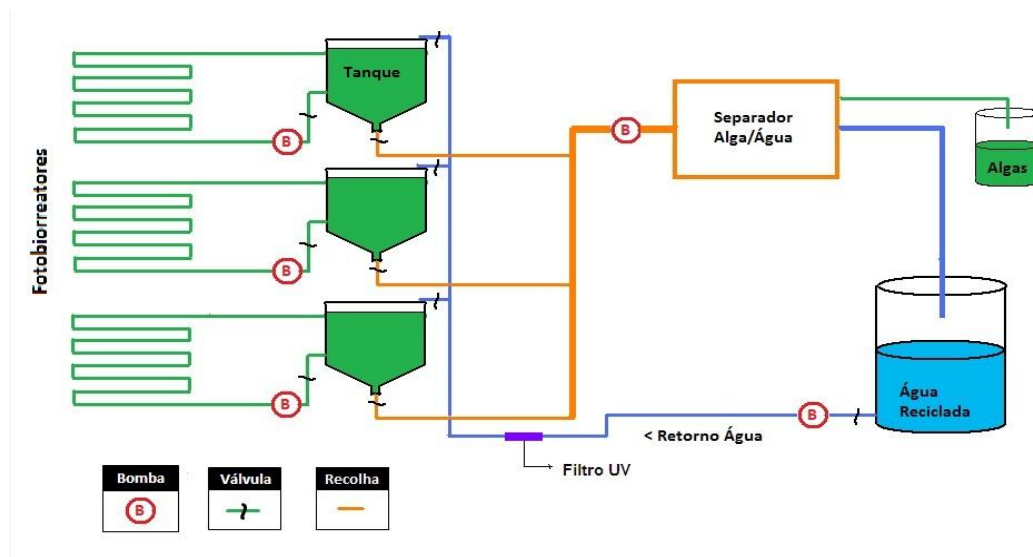


Figura 03: Esquema dos fotobiorreatores e reciclagem de água

Fonte: Mulder (2010)

Além da vantagem de consumir pouca água, os fotobiorreatores ocupam pouco espaço, um metro quadrado de área usada para cultivo de microalgas pode ser estendido verticalmente produzindo centenas de vezes mais do que algumas plantações no mesmo espaço, não precisando derrubar mata nativa.

### **3. Metodologia**

Diante da necessidade de aumentar a oferta de energia elétrica do país, a biomassa de microalgas revela grande potencial para produção de eletricidade.

Este trabalho descreve um possível processo produtivo de microalgas para geração de energia elétrica, desenvolvido em reuniões com pesquisadores da UFPE, tendo como base conceitual uma pesquisa bibliográfica e documental, constituída de publicações e periódicos.

O processo produtivo foi desenvolvido de modo a reduzir ao mínimo os custos e maximizar a produção.

### **4. Resultados**

A geração de eletricidade através da queima da biomassa algal no Brasil seria uma alternativa sustentável para aumentar a oferta de energia do país e resolver os gargalos de infra-estrutura que dificultam a entrada de investimentos privados impedindo o crescimento da economia.

Com o intuito de maximizar a produção dessa fonte de energia foi desenvolvido um projeto do processo produtivo de modo a se realizar em conjunto com a produção de etanol de uma usina de cana-de-açúcar que usa o bagaço da cana para a geração de energia elétrica como subproduto. O fluxo do processo de produção elaborado pode ser visualizado na Figura 04.

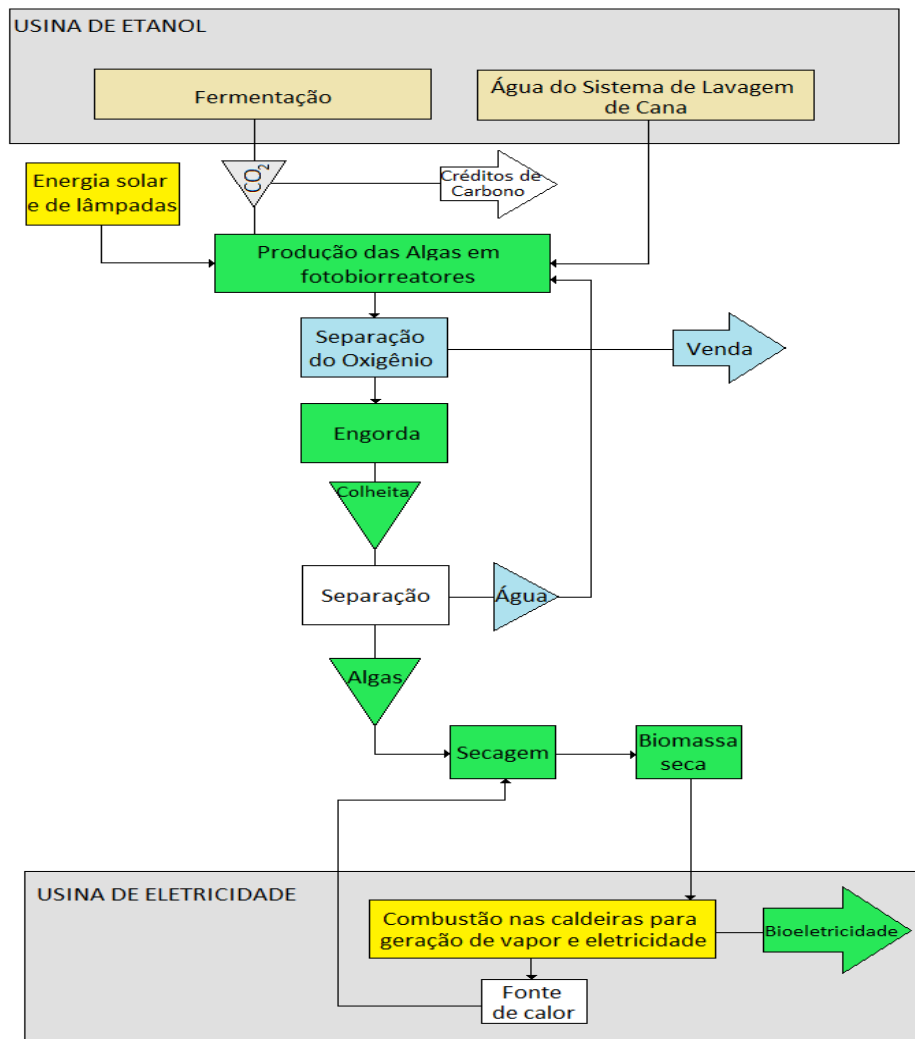


Figura 04: Fluxo do processo produtivo de microalgas

Fonte: Mulder (2010)

Os custos de produção de microalgas para a geração de bioeletricidade são reduzidos quando o processo é feito em conjunto com a produção de uma usina de cana-de-açúcar, pois todo CO<sub>2</sub> emitido pelo processo de fermentação do etanol é absorvido pelas algas. Para cada 1.000 litros produzidos de álcool são emitidos 800 kg de CO<sub>2</sub> que é suficiente para produzir 470 kg de biomassa algal, esta quantidade queimada gera cerca de 3,82 MWh.

Além de todo CO<sub>2</sub> necessário para a produção de microalgas, também se tem custo zero com a água utilizada no processo, pois pode ser utilizada a água do sistema de lavagem da cana.

Como já mencionado, a produção de algas necessita de luz para a realização da fotossíntese. Nesse processo produtivo seria utilizada a luz solar durante o dia e o uso de lâmpadas durante a noite, pois a produção seria em larga escala e necessitaria realizar fotossíntese durante a noite também.

A produção das microalgas se daria em fotobiorreatores construídos de acordo com a quantidade desejada a ser produzida. Nos fotobiorreatores as algas são alimentadas com nutrientes e  $\text{CO}_2$ , e através da fotossíntese se reproduzem e liberam oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Para cada tonelada de  $\text{CO}_2$  absorvida são liberados cerca de 500 kg de  $\text{O}_2$ . Esse  $\text{O}_2$  pode ser vendido gerando receita para a produção de microalgas.

Depois da separação do  $\text{O}_2$ , as algas passam por um processo de engorda até chegar ao processo de colheita. Em seguida são separadas da água em um processo no qual o ar é inserido por baixo de um compartimento onde o caldo (água + microalgas) está armazenado formando muitas bolhas, fazendo com que, através de um processo de decantação, as microalgas se concentrem na superfície separando-as da água.

Na fase de separação, existe ainda um retorno para as águas recicladas contendo os nutrientes e adubos ainda existentes na água, permitindo reaproveitamento dos mesmos assim como da água.

Depois de extraídas as microalgas passam por um processo de secagem no qual é utilizada água quente em um processo exemplificado na Figura 05. A água utilizada nessa fase é aquecida pelo calor proveniente da combustão nas caldeiras.

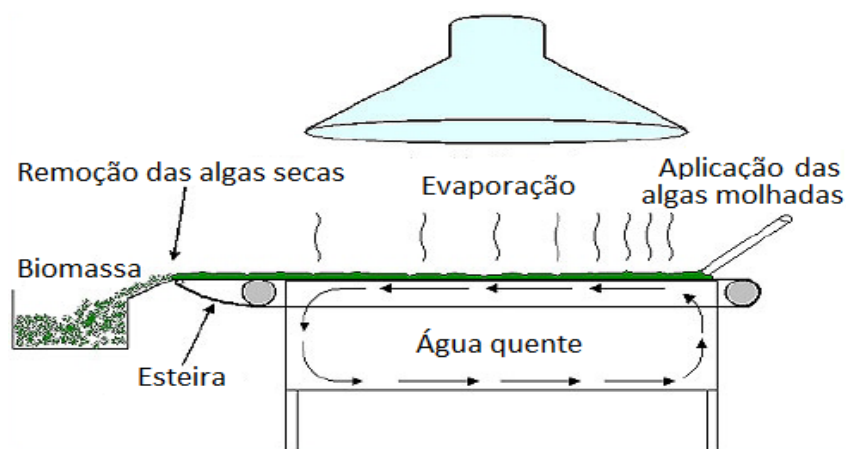


Figura 05: Processo de secagem das microalgas

Fonte: Mulder (2010)

Depois de seca a biomassa está pronta para ser queimada e gerar energia elétrica. A combustão da biomassa das algas deve ser realizada nas mesmas caldeiras utilizadas na queima do bagaço da cana, gerando bioeletricidade.

O processo em conjunto com a usina de etanol maximiza a produção de microalgas. Desse processo obtêm-se receitas oriundas de créditos de carbono, venda de oxigênio puro e energia elétrica.

Atualmente a maioria das usinas de cana-de-açúcar do país gera energia elétrica<sup>2</sup>, porém a produção sucroalcooleira só está em atividade durante a safra da cana, no restante do ano os equipamentos ficam ociosos. Desse modo, a eletricidade de microalgas seria um produto complementar ao bagaço da cana nos meses de safra e substituto no restante do ano.

A produção de microalgas aumentaria a produtividade da indústria de etanol, através da utilização dos resíduos de seu processo produtivo capaz de produzir biomassa com baixo consumo energético para a geração de bioeletricidade nas instalações existentes.

O sequestro de carbono reduziria o índice de emissão da usina, melhorando a percepção de sustentabilidade da produção de etanol perante a comunidade e os mercados internacionais.

## **5. Conclusão**

Neste trabalho analisou-se o potencial produtivo das microalgas, que além de sua aplicabilidade em diversas áreas como na produção de biocombustíveis e em indústrias alimentar, química, cosmética e farmacêutica, também revela grande potencial na produção de eletricidade.

Um processo produtivo de microalgas para geração de energia elétrica foi proposto a fim de suprir a crescente demanda por eletricidade no Brasil, devido ao forte crescimento econômico do país ocorrido nos últimos anos e previsto para os próximos anos.

---

<sup>2</sup> Segundo a ANEEL existem 319 usinas no Brasil que produzem eletricidade, possuindo capacidades de geração de até 111 MWh (Usina Bonfim, em Guariba/SP).

O processo produtivo de microalgas em conjunto com a produção de uma usina de etanol maximiza a produção dessa última, pela oportunidade de obter ganhos além dos meses de safra, reduzindo a ociosidade do maquinário, além de maximizar também a produção de microalgas, reduzindo custos de investimento e produção. Além disso, pôde-se verificar a oportunidade de agregar valor a produção de microalgas através dos créditos de carbono e da produção de oxigênio.

### **Referências**

- ANDRADE, T.; LOBÃO, W., Elasticidade-renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. *Texto para Discussão*, 489. Rio de Janeiro: Ipea, 1997.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração. Disponível em: [www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2](http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2). Acesso em: Nov/2010.
- BORGES, L.; FARIA, B. M.; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C., Potencial de absorção de carbono por espécies de microalgas usadas na aquicultura: primeiros passos para o desenvolvimento de um “mecanismo de desenvolvimento limpo”. *Revista Atlântica, Rio Grande*, vol. 29, p.35-46. Rio Grande/RS, 2007.
- BROWN, L. M.; ZEILER, K. G., Aquatic biomass and carbon dioxide trapping. *Energy Convers.* Vol. 34, p.1005-1013, 1993.
- CHISTI, Y., Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, Elsevier, Palmerston North, Nova Zelândia, p. 294–306, 2007.
- DANTAS, D. M. M.; DRUMMOND, A. R. F.; SANTOS, L. B. G.; SANTOS, F. K.; BEZERRA, R. S.; GÁLVEZ, A. O., Extração de óleo de microalga utilizando ultrassom com diferentes solventes visando a produção de biodiesel. In: *I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas*, p.1900-1904. João Pessoa/PB, 2010.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético 2009. Disponível em: [www.ben.epe.gov.br/](http://www.ben.epe.gov.br/). Acesso em: Jan/2010.

EXCALIBUR PROJECT, disponível em: <http://www.excaliburproject.com/pt/>.

Acesso em: Nov/2010.

GORTER, H. de.; JUST, D. R., *The Social Costs and Benefits of Biofuels: The Intersection of Environmental, Energy and Agricultural Policy*. Applied Economic Perspectives and Policy. Ithaca, NY, volume 32, nº 1, p.4-32, 2009.

MULDER, J. P., *Micro-Algas: A nova Agricultura*. Mimeo, Recife/PE: UFPE, 2009.

MULDER, J. P., *Micro-Algas: A nova energia*. Mimeo, Recife/PE: UFPE, 2010.

PATIL, V.; TRAN, K.; GISELROD, H. R., Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*. Sarpsborg, Norway. p.1188-1195, 2008.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016, MME/EPE - Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, 2007.

SCHMIDT, C. A. J., A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Economia, EPGE/FGV*, Rio de Janeiro, vol. 58, nº 1, 2004.

SHEEHAN, J.; DUNAHAY, T.; BENEMANN, J. R.; ROESSLER, P., *A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from Algae*. Solar Energy Research Institute, US Department of Energy. Golden, Colorado, 1998.

TEIXEIRA, C. M. L. L.; MORALES, E., Microalga como matéria-prima para a produção de biodiesel. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília. *Anais*. p.91-96. 2006.