

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Direito e Relações Internacionais
Curso de Relações Internacionais - FADIR

MONIQUE CANCELLI ANDRADE

OS DESAFIOS DA ENERGIA DAS MICROALGAS COMO
CRÉDITO DE CARBONO NA POLÍTICA INTERNACIONAL

DOURADOS - MS
2014

MONIQUE CANCELLI ANDRADE

**OS DESAFIOS DA ENERGIA DAS MICROALGAS COMO
CRÉDITO DE CARBONO NA POLÍTICA INTERNACIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Banca Examinadora da Universidade federal
da Grande Dourados, como pré-requisito para
a obtenção do título Bacharel em Relações
Internacionais

Orientador: Prof. Me. Matheus de Carvalho
Hernandez.

**DOURADOS - MS
2014**



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de fevereiro de 2014, compareceu para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Bacharel em Relações Internacionais a aluna **Monique Cancelli Andrade** tendo como título "*Os desafios da energia das microalgas como crédito de carbono na Política Internacional*".

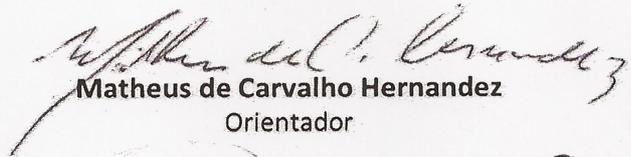
Constituíram a Banca Examinadora os professores Me. Matheus de Carvalho Hernandez (orientador), Prof. Charlei Aparecido da Silva (examinador) e a Me. João Nackle Urt (examinador).

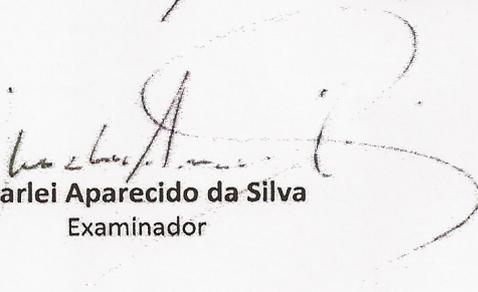
Após a apresentação e as observações dos membros da banca avaliadora, o trabalho foi considerado APROVADO.

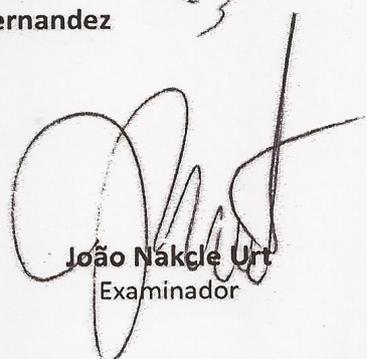
Por nada mais terem a declarar, assinam a presente Ata.

Observações: _____

Assinaturas:


Matheus de Carvalho Hernandez
Orientador


Charlei Aparecido da Silva
Examinador


João Nackle Urt
Examinador

RESUMO

A presente pesquisa trata dos debates da política internacional e seus desafios em relação à disseminação de formas de produção de energia menos agressivas ao meio ambiente. Nesse sentido, analisam-se, em comparação com outras formas de produção de energia, as diversas vantagens ambientais da produção com microalgas apresentadas em pesquisas científicas. Essas pesquisas indicam que a produção por microalgas pode ser grande geradora de créditos de carbono, iniciativa nascida dos debates internacionais a respeito das questões ambientais. Para colocar isso em discussão, este trabalho compara a eficiência na produção desses créditos de carbono a partir da energia do cultivo de microalgas com os créditos gerados pela cogeração de energia na indústria de cana-de-açúcar, comumente utilizada no Brasil. Ao final, argumenta-se que o Brasil deveria investir mais pesadamente na produção de energia a partir das microalgas, tendo em vista seus retornos benéficos para o meio ambiente e seus retornos econômicos em matéria de créditos de carbono.

ABSTRACT

This research deals with international politic debates and its challenges due to the dissemination of less aggressive energy production forms to the environment. Thus, are analyzed the many environmental advantages of the microalgae production, presented in scientific researches, compared to other forms of energy production. These researches indicate that the production with microalgae could be a great carbon credits provider, an initiative born from international debates about environmental issues. To put it in discussion, this paper compares the efficiency of the production of these carbon credits from the energy of microalgae's cultivation with carbon credits from cogeneration of energy in the sugar cane industry, generally utilized in Brazil. At the end, it is argued that Brazil should heavily invest in the production of energy from microalgae, aiming the beneficial incomes of this production to the environment and also the economics in terms of carbon credits.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	4
1 O MERCADO DE CARBONO.....	6
1.1 O apelo às questões climáticas e o surgimento do mercado de carbono.....	10
1.2 O mecanismo de desenvolvimento limpo e os créditos de carbono.....	15
1.3 O <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC)	17
1.4 Os créditos de carbono e o setor energético como precursores para a “economia mundial de baixo carbono”.....	18
2 A VIABILIDADE DA COGERAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO CRÉDITO DE CARBONO NO BRASIL.....	21
2.1 A cogeração de energia na indústria sucroalcooleira e suas consequências.....	21
2.2 Cogeração de energia na indústria sucroalcooleira: revisão de literatura.....	23
2.3 Conclusões acerca da cogeração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar..	25
3 A POSSIBILIDADE DA OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS.....	28
3.1 A energia das microalgas como potencial gerador de créditos de carbono.....	28
3.2 A produção de energia através de microalgas e sua viabilidade sustentável: revisão de literatura.....	30
3.3 Conclusões acerca da potencialidade das microalgas na produção de créditos de carbono na indústria de bioetanol.....	34
4 CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS.....	47

INTRODUÇÃO

Os créditos de carbono surgiram como uma alternativa sustentável ao desenvolvimento de países emergentes. O desenvolvimento e aplicação de formas energéticas renováveis, nas mais diversas modalidades, com o objetivo de fortalecer a consciência para o tema e a prática ambiental, são de extrema importância não só para o Brasil, mas também para os demais Estados do sistema internacional. As necessidades de formas energéticas renováveis, aliadas aos créditos de carbono, são imprescindíveis para o abandono de práticas energéticas prejudiciais ao ambiente, como é o caso dos combustíveis fósseis.

Esta pesquisa tem como tema a produção de energia aliada aos créditos de carbono. Serão comparadas duas formas de produção energética - produção de bioetanol através de microalgas e cogeração de energia na usinas de cana-de-açúcar - afim de esclarecer qual delas produziria mais créditos de carbono. A pesquisa é dividida em três capítulos.

O primeiro capítulo tratará do mercado de carbono, estabelecido a partir de diversas convenções ambientais que visavam a soluções para que o desenvolvimento dos países ditos emergentes continuasse e, ao mesmo tempo, de forma não prejudicial ao ambiente. Estabeleceu-se também como uma ajuda aos países considerados desenvolvidos, participantes do Protocolo de Kyoto (uma das principais convenções ambientais até hoje), que não conseguissem cumprir as metas estabelecidas quanto à emissão de dióxido de carbono e outros GEE no ambiente. Será explicitada também a relação desses créditos com a área energética e o porquê da necessidade de formas sustentáveis nessa área.

O segundo capítulo visa explicar a produção de créditos de carbono a partir da cogeração de energia nas usinas de cana-de-açúcar, ou seja, a produção de várias energias simultaneamente na indústria de cana. Essa cogeração de energia já é uma realidade em muitas regiões brasileiras, inclusive como produtora de créditos de carbono; contudo, será analisada a eficácia desse tipo de produção para o mercado de carbono no que diz respeito ao ambiente.

O terceiro capítulo objetiva entender a produção energética a partir das microalgas, bem como explicar o quão eficiente esse processo seria na produção de créditos de carbono. Importante ressaltar que o etanol das microalgas ainda não foi

produzido, contudo existem diversas pesquisas apontando sua eficiência para o sequestro de carbono e a consequente produção de créditos de carbono.

O principal objetivo deste trabalho é esclarecer porque o Brasil deveria investir na produção de energias renováveis, com destaque para a produção de bioetanol a partir de microalgas. Evidenciar as vantagens que esse tipo de produção traria ao Brasil e as dificuldades que a mesma possui em ser disseminada como prática entre as políticas públicas dos Estados.

1 O MERCADO DE CARBONO

Apesar dos alertas climáticos advindos principalmente a partir da década de 70, o desenvolvimento no século XX foi marcado pela utilização de fontes poluentes de energia, como o carvão mineral, gás natural e principalmente o petróleo. Consequentemente, apesar da preocupação ambiental existente hoje, o século XXI ainda é bastante dependente de fontes fósseis, o que ocasiona o aumento crescente das emissões de GEE na atmosfera, agravando problemas como o efeito estufa. (SANTOS, 2012, p. 13)

Viu-se, então, a necessidade de estabelecer metas limitando a quantidade de GEE (Gases do Efeito Estufa) emitida por cada país. Na percepção de que alguns países (principalmente os considerados de primeiro mundo, conhecidos no debate ambiental também como “anexo I”) falhavam no cumprimento das metas propostas¹, criou-se o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

Esse mecanismo visa a atingir maior impacto na redução da emissão dos gases causadores do Efeito Estufa (aquecimento demasiado da temperatura terrestre). Sua proposta objetiva uma forma a partir da qual os países emergentes possam basear seu crescimento em uma economia sustentável, ajudando simultaneamente países com dificuldades em cumprir as metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto (o MDL será abordado mais claramente no item 1.2).

Amyra El Khalili (2003) defende que Créditos de Carbono são Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) que autorizam a poluição, partindo do pressuposto de que a diminuição na emissão de GEE independe de localização geográfica. São selecionadas as indústrias mais poluentes num país e estabelecem-se metas progressivas para reduzir as emissões de GEE. No caso de cumprimento das metas, as empresas recebem bônus negociáveis na proporção (cada bônus, com cotação em dólares, equivale a uma tonelada em poluentes) de suas responsabilidades, ou seja, se determinada empresa não consegue cumprir as metas estabelecidas, ela pode comprar o direito de poluir de uma outra empresa mais bem sucedida nesse aspecto. A comercialização desses certificados ocorrem por intermédio das Bolsas de Valores. (KHALILI, 2003)

¹As conferências ambientais e decisões a respeito das questões ambientais serão retratadas com mais clareza ao longo deste capítulo

Os créditos são gerados por projetos de MDL. Um projeto de MDL deve passar pela aprovação da Convenção-Quadro sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), adotada durante a ECO 92, que possui uma série de requisitos “[...] relacionados à transparência do processo de desenvolvimento, implantação do projeto e validação das emissões reduzidas, culminando na emissão das reduções certificadas de emissões (RCEs)” (TEIXEIRA; ALVES; SANTOS, 2011, p. 673).

Segundo Teixeira, Alves e Santos (2011, p. 680), para que o projeto seja aprovado, é necessário que o mesmo passe por vários pontos que analisam: se as atividades do MDL são voluntárias e se foram aprovadas pelo país onde serão desenvolvidas²; se o projeto atende aos critérios de elegibilidade; se há realmente redução adicional nas emissões de GEEs; se os comentários dos atores envolvidos foram incluídos e considerados de alguma forma; se a análise de impacto ambiental foi realizada segundo a legislação ambiental aplicável; se as emissões de GEEs fora dos limites da atividade de projeto, mas atribuíveis a ela, foram consideradas; se a metodologia para a linha de base proposta está de acordo com as modalidades e procedimentos cabíveis; e se o período de obtenção dos créditos de carbono foi definido.

Teixeira, Alves e Santos (2011, p. 677) resumem as etapas necessárias para que um projeto de MDL se torne uma RCE. São elas:

- 1- elaboração do documento de criação do projeto³;
- 2- validação/aprovação;
- 3- registro;
- 4- monitoramento;
- 5- verificação e certificação; e
- 6- emissão e aprovação das RCEs.

Antes de entender a negociação de créditos de carbono, é necessário entender a quantidade de dióxido de carbono necessária para que haja uma RCE. Segundo a página virtual da BM&F BOVESPA⁴ e também segundo Kalili (2003), por convenção, um

²No caso do Brasil, a entidade responsável pela aprovação do projeto é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, que é composta por representantes de onze ministérios.

³O Documento de Concepção do Projeto (CDM) e o documento para a obtenção da Carta de Aprovação do Governo Brasileiro (Manual para Submissão de Atividades de Projeto no Âmbito do MDL) pode ser encontrado na página virtual do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O primeiro encontra-se disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14442/Formularios_relativos_ao_MDL.html e o último em: www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25268.pdf.

⁴A BM&F BOVESPA é uma das companhias responsáveis pela negociação de créditos de carbono.

crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono (CO) equivalente. Ou seja, a cada uma tonelada de dióxido de carbono deixada de ser emitida ou até mesmo retirada do ambiente (sequestro de carbono), tem-se um crédito de carbono.

A página virtual da BM&FBOVESPA explica que há dois tipos de mercados voltados à negociação de créditos de carbono. O primeiro é o mercado em linha com o protocolo de Kyoto (também conhecido como “Mercado Regulado” ou *Compliance*), no qual as RCEs são negociadas com o objetivo de tornar mais fácil o cumprimento das metas de redução das emissões de carbono. O segundo é chamado mercado “voluntário”⁵ (ou “não-Kyoto”), no qual ocorre o cumprimento das metas estabelecidas de forma voluntária por empresas ou governos locais, fora do Protocolo. Em ambos os mercados é possível a negociação dos créditos de carbono e/ou permissões.

Segundo o IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia), outra forma de financiar projetos de RCEs são os Fundos Voluntários, que têm como principais características: não fazem parte do mecanismo de mercado (não geram os créditos de carbono); o valor doado não é descontado da meta de redução dos países doadores (não é permitido); permitem a entrada de projetos com estruturas não reconhecidas. Os principais Fundos Voluntários são o *Forest Carbon Partnership Facility* (Banco Mundial) e o Fundo Amazônia (governo brasileiro).

Há várias empresas especializadas em negociar contratos de compra e venda de certificados que garantem aos países desenvolvidos o direito de poluir. Essas empresas se dedicam ao desenvolvimento de projetos que reduzem o nível de carbono na atmosfera e à negociação de certificados de emissão de carbono. O objetivo geral é vender cotas dos países considerados emergentes e subdesenvolvidos (que em regra emitem menos poluentes) aos países denominados desenvolvidos (tidos como os que mais poluem). (KHALILI, 2003)

Marinho (2009) define crédito de carbono ou RCE como “[...] a unidade padrão de redução de emissão de gases de efeito estufa [...]” e explica que cada crédito equivale a uma tonelada de dióxido de carbono (CO), um dos principais gases poluentes. Esclarece também que a comercialização ocorre de acordo com as regras internacionais

⁵O IPAM afirma que no mercado voluntário quem toma a iniciativa para que haja a redução das RCEs são: as empresas, ONGs, instituições, governos e até cidadãos. Algumas características dos mercados voluntários: créditos não valem como redução de metas dos países; operação é menos burocrática; podem entrar projetos com estruturas não reconhecidas pelo mercado regulado. O principal mercado voluntário é o *Chicago Climate Exchange*, nos EUA.

e nacionais de cada país envolvido, de modo a garantir a redução e estabilização das emissões de GEE.

Gomes (2005, p. 4 e 5), a respeito da comercialização de créditos de carbono, afirma que não seria viável a comercialização dessas RCEs somente entre empresas públicas, já que empresas privadas são tão poluentes quanto:

A utilização destes mecanismos não é exclusiva dos governos, o que parece óbvio, uma vez que fontes de emissão, como diversas indústrias, estão no setor privado. Cabe a um determinado país o cumprimento de sua meta, portanto, cabe aos governos implementarem políticas domésticas que envolvam as empresas privadas para que se engajem naquele objetivo. Assim, estas organizações podem participar diretamente de projetos inseridos nos mecanismos do Protocolo e vislumbram possibilidades de novos negócios em áreas como:

- utilização de combustíveis renováveis em substituição àqueles de origem fóssil, como o gás natural, que começa a ser utilizado em larga escala no Brasil em veículos automotores;
- fontes alternativas de geração de energia como a solar e eólica; e
- reflorestamento, como um dos exemplos de atividades que absorvem o dióxido de carbono da atmosfera, um dos principais focos de recebimento de investimentos. (GOMES, 2005, p. 4-5)

Eduardo Viola (2000), referência em governança global da mudança climática, destaca que para proteger o meio ambiente deve-se buscar outras formas além dos mecanismos rígidos de controle e comando predominantes nos últimos trinta anos. Viola refere-se à necessidade da implantação de mecanismos de mercado a fim de valorizar os recursos naturais e aponta essa necessidade como uma inovação extraordinária. Exemplifica ainda com a primeira dessas inovações: a emenda de 1990 do *Clean Air Act* de 1970⁶, criado pelos Estados Unidos. Viola destaca que foi devido a essa emenda que criaram-se as cotas comercializáveis de poluição nos EUA, o que ocasionou a diminuição de 40% da emissão de poluentes no ar do país na década de 90. Mais a frente, desencadeou-se o Protocolo de Kyoto e o termo “crédito de carbono”.

As demandas ambientais não decorreram apenas do *Clean Air Act* de 1970. Após esse ato, houveram diversas iniciativas internacionais bastante importantes, que serão relatadas a seguir.

⁶ O *Clean Air Act* é uma lei federal dos Estados Unidos designada a controlar a poluição do ar a nível nacional. O congresso norte-americano designou o *Clean Air Act* para proteger a saúde pública e o bem-estar coletivo de diferentes tipos de poluentes no ar derivados das mais diversas fontes. Mais informações: <http://www.epa.gov/air/caa/requirements.html>

1.1 O apelo às questões climáticas e o surgimento do Mercado de Carbono

Internacionalmente, o aumento da preocupação com as mudanças climáticas ocorreu a partir do século XX, com a Conferência Científica da ONU (1949) e a Conferência sobre Biosfera (1968), em Paris. Contudo, o despertar para a consciência ecológica mundial ocorreu principalmente na Conferência de Estocolmo (1972), que teve como foco a poluição terrestre. (ANDRADE *et al.*, 2000 *apud* BORGES; TACHIBANA, 2005, p. 3)

É bom esclarecer que o fenômeno denominado efeito estufa é uma ocorrência natural e necessária para manter regular a temperatura planetária, garantindo a vida. Contudo, ao longo dos anos, percebeu-se o aumento da temperatura média da terra devido à emissão desenfreada de gases considerados nocivos⁷ à atmosfera (poluição). O fenômeno que aumenta gradualmente a temperatura média global e resulta no superaquecimento do planeta foi denominado “aquecimento global” e acarretou-se pelo excesso na emissão dos ditos GEE, prejudicando as formas de vida. (OLIVEIRA *et al.*, 2009, p. 5)

Segundo Rodnei Vecchia (2010, p. 49-59), algumas das principais consequências do aquecimento global são: a diminuição da extensão anual do gelo marinho, prejudicando a fauna que habita o local; o aumento no nível dos oceanos ocasionado pelo derretimento das geleiras, possibilitando catástrofes como *tsunamis*, por exemplo; furacões; tufões; incêndios; recuos florestais; mudanças drásticas na produção de alimentos; secas intensas.

Em virtude dessas adversidades, em 1988, o físico da NASA, James Edward Hansen, pronunciou-se no Congresso norte-americano a respeito das evidências científicas da intervenção humana e as consequências diretas e danosas no clima. Em seguida, foi criado em novembro do mesmo ano, pela ONU, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)⁸, um órgão da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUMC). (DIAS, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 72)

⁷Alguns dos principais gases causadores do aquecimento global são: dióxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxido de nitrogênio (N₂O) e hexafluorcarbono (HFC)

⁸O IPCC e sua relação com os Créditos de Carbono serão mais detalhados no item 3.2

Em vista do aumento da preocupação mundial com o aquecimento global, iniciaram-se uma série de conferências mundiais em prol de soluções plausíveis para a problemática ambiental. Em junho de 1992, juntamente com a Secretaria Geral chefiada pelo canadense Maurice Strong⁹, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), popularmente conhecida como Cúpula da Terra, ECO 92 ou Rio 92. (DIAS, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 65)

Em suma, a Eco 92 foi um apelo às questões climáticas. Ressaltou-se, em seus documentos, que: os países desenvolvidos, tidos como os maiores causadores da poluição, estariam com a responsabilidade de combatê-la; aos países em desenvolvimento, deveriam ser disponibilizados recursos e tecnologias menos prejudiciais ao meio ambiente, para que pudessem reverter esse processo de degradação; e o problema da dívida externa dos países de menor renda deveria ter a devida atenção de todos como um requisito importante para o desenvolvimento sustentável. (PORTO-GONÇALVES, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 65)

Estabeleceu-se, também, que os países presentes deveriam enumerar formas alternativas de reduzir a emissão de gases causadores do aquecimento global, de modo a estabelecer metas e programas nacionais de controle. Contudo, essas decisões não obtiveram o devido êxito já que não se tratavam de metas e programas obrigatórios. (DIAS, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 65)

Como continuidade às ideias desenvolvidas na Eco 92, originou-se a Conferência das Partes (COP), tida como o maior órgão da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima¹⁰ (UNFCCC), pelos mesmos países participantes. Em 1996, em Genebra, na Suíça, realizou-se a segunda reunião da COP, na qual foi diagnosticada a necessidade de definir metas e políticas mais específicas, com o objetivo de controlar a emissão dos GEE. Propôs-se, então, a elaboração de um protocolo de cumprimento mandatório (futuro Protocolo de Kyoto). (MCT, 2006)

Em 1997, houve a terceira COP, realizada na província de Kyoto, Japão. Essa terceira conferência foi voltada à poluição derivada dos combustíveis fósseis e à questão energética. No evento, 167 países construíram a primeira tentativa política mais

⁹Maurice Strong é mundialmente conhecido por suas causas ambientais, considerado por muitos como padrinho do ambientalismo.

¹⁰O nome original da convenção, na língua inglesa, é *United Nations Framework Convention on Climate Change*, por isso a sigla UNFCCC. A UNFCCC foi originada oficialmente na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92) com o objetivo de reunir os países na tentativa de estabilizar e diminuir as concentrações de gases causadores do efeito estufa a níveis menos prejudiciais. A convenção entrou em vigor em 1994 e conta atualmente com 194 países signatários.

abrangente de estabelecer limites rigorosos para as emissões dos GEE pelos países desenvolvidos, vistos como os principais causadores do aquecimento global. (MILLER, 2007, *apud* VECCHIA, 2010, p. 65)

O protocolo de Kyoto foi elaborado em 1997, contudo entrou em vigor somente em 16 de fevereiro de 2005, após a ratificação da Rússia em novembro de 2004. Totalizou-se, com os países-membros, 55% das emissões mundiais de GEE, já que alguns países não foram assinantes do tratado¹¹. A proposta do protocolo visava inicialmente à redução dos GEE em 5,2% até o ano de 2012, entendendo-se posteriormente (em janeiro de 2013) até o ano de 2020. Para isso foi proposto um calendário com as reduções necessárias e os prazos para os países assinantes. Os 84 países signatários teriam de colocar em prática planos de redução da emissão entre 2008 e 2012. (VECCHIA, 2010, p. 66)

Rodnei Vecchia (2010, p. 66) destaca as principais atividades do protocolo:

- reforma nos setores energéticos e de transportes;
- promoção do uso de formas renováveis de fontes energéticas;
- proteção de florestas e outros “sumidouros de carbono”
- concessão de créditos em espécie, advindos de países industrializados com dificuldade em atingir a meta imposta pelo protocolo, a países com execução de projetos de redução de gases causadores do efeito estufa através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), ou sequestro de carbono¹².

Em vista das atividades citadas, nota-se a constante preocupação com a contenção da quantidade de GEE da atmosfera e com a necessidade de formas alternativas de energia, advindas de fontes renováveis.

Entre 26 de agosto e 4 de setembro de 2002, em Johannesburgo, na África do Sul, ocorreu mais uma conferência nomeada Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável¹³, popularmente conhecida como Rio + 10. O objetivo geral era fazer um balanço dos resultados obtidos após a Cúpula da Terra de 92, analisar o que havia sido

¹¹ Alguns países que não foram assinantes do Protocolo de Kyoto: Austrália, Estados Unidos, Liechtenstein e Mônaco.

¹² O sequestro de carbono é um processo que diminui a quantidade de carbono da atmosfera e tem como finalidade conter e reverter o acúmulo desse gás (um dos principais causadores do aquecimento global) no ambiente. Em suma, o termo “sequestro de carbono” traduz-se em remover carbono do ambiente. Para isso, existem diversos métodos como, por exemplo, o plantio de árvores (que retira carbono do ambiente no processo de fotossíntese). O termo “sequestro de carbono” está diretamente ligado ao termo “créditos de carbono”, que seria o êxito no processo de retirar carbono do ambiente, o que possibilita outros países com dificuldades em manter a meta imposta no Protocolo de Kyoto a comprarem o direito de poluir carbono de países que realizam esse sequestro.

¹³ Originalmente foi nomeada *Earth Summit for Building Sustainable Development*.

elaborado e averiguar as possíveis adversidades surgidas desde então. Concluiu-se que as políticas climáticas, baseadas nas orientações científicas, deveriam ser formuladas conforme o tripé: empresa, governo e sociedade civil. As metas estabelecidas pela ECO 92 não foram bem sucedidas e, somado a isso, os indicadores do clima haviam piorado no período de dez anos que separou os dois encontros. (DIAS, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 67).

Como solução, a cúpula decidiu tornar concretos os compromissos, metas e promessas da Agenda 21¹⁴. Para isso, foi elaborada pelos Estados-membros a “Declaração de Johannesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável e um Plano de Implementação”, nos quais foram detalhadas as ações e suas prioridades. (ONU BRASIL, 2010). Seguem abaixo três pontos dessa declaração que evidenciam as possíveis soluções cogitadas na cúpula para as questões ambientais e o desenvolvimento sustentável:

[...]

31. Para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável, necessitamos de instituições multilaterais mais eficazes, democráticas e responsáveis.

[...]

33. Assumimos adicionalmente o compromisso de monitorar em intervalos regulares, o progresso alcançado na implementação das metas e objetivos do desenvolvimento sustentável.

[...]

36. Assumimos compromisso com o Plano de Implementação de Johannesburgo e com acelerar o cumprimento das metas socioeconômicas e ambientais com prazo determinado nele contidas.

[...]

Declaração de Johannesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável e um Plano de Implementação, 2002, p. 5

A última conferência ocorreu no Rio de Janeiro em 2012 e contou com a participação de 193 países-membros e ficou conhecida popularmente como “Rio + 20”. Tratou de questões relativas à sobrevivência humana e do planeta, com o objetivo de prosseguir caminhando para um futuro sustentável. Foi composta por dois blocos: os Estados-membros da ONU, com a presença de representantes do governo de cada país;

¹⁴A agenda 21 foi o principal documento elaborado durante a Eco 92.

e a sociedade civil, composta por nove grupos denominados *Major Groups*¹⁵. (CNUDS, 2012)

Os principais objetivos da Rio + 20, segundo a página virtual oficial da conferência, eram: assegurar e renovar o compromisso político com o desenvolvimento sustentável; avaliar o progresso e falhas de implementação diante dos compromissos já acordados; e definir novos desafios emergentes.

Em maio de 2012, pouco antes da conferência que ocorreu em junho do mesmo ano, Eduardo Viola¹⁶ afirmou, durante uma audiência pública realizada pela Comissão Mista sobre Mudanças Climáticas (CMMC) para debater a economia verde quanto à erradicação da pobreza e o papel dos governos para o desenvolvimento sustentável, que a Rio +20 não teria condições de ser bem sucedida e que não teria grandes avanços já que duas, das três potências¹⁷, China e Estados Unidos, não estariam interessadas em fazer negociações ambientais. Seguiu o raciocínio de que a conferência não passaria de acordos que repetiriam o que já foi dito em conferências anteriores. (SENADO FEDERAL, 2012)

Após o término da Rio + 20, Viola e Franchini (2012a, p. 477-491) afirmaram que esta representou um retrocesso ainda maior que a COP de Johannesburgo. Defenderam que em cada um desses eventos,

[...] surgem declarações de extremo otimismo proferidas pelos negociadores profissionais [...], inflando as expectativas sobre os resultados das reuniões, o que representa mais uma ilusão ou resposta corporativa de parte daqueles que fazem das negociações sua vida e menos uma consideração baseada em fatos reais. (VIOLA; FRANCHINI, 2012a, p. 476).

A conferência teve uma agenda bastante fraca em ambições comparada com a anterior e não conseguiu atingir os escassos objetivos propostos, já que não houve “[...] avanço significativo na criação de um mecanismo de governança ambiental global” e nem uma melhora no PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Ambiente). Não houve acordo sobre a definição do conceito de “economia verde”. (VIOLA; FRANCHINI, 2012a, p. 477)

¹⁵Os *Major Groups* são definidos em: comunidade científica e tecnologia, fazendeiros, governos locais, indústria, infância e juventude, mulheres, negócios, ONGs, povos indígenas, trabalho e sindicatos.

¹⁶Eduardo Viola é professor de Relações Internacionais na Universidade de Brasília (UnB) e especialista em negociações relacionadas ao clima.

¹⁷A terceira seria a União Europeia, segundo Viola.

Para Viola e Franchini (2012a, p. 477), o principal problema do evento foi o simples fato de China e Estados Unidos não serem adeptos à sustentabilidade. São países de extrema importância no sistema global, considerados potências mundiais e, por isso, possuíram grande influência nas decisões da convenção, impedindo a solução de alguns assuntos importantes, como a acidificação dos oceanos, por exemplo.

Apesar de não serem diretamente relacionados à cúpula, alguns aspectos positivos foram notados por Viola e Franchini (2012a, p. 477). Houve mais de 3 mil eventos paralelos à agenda oficial organizados principalmente por associações científicas, ONGs e organizações empresariais. Outro aspecto positivo foi o Fórum das Grandes Cidades, no qual cinquenta e seis das principais cidades do mundo se agruparam representando diversos países importantes. Essas metrópoles se reuniram se comprometendo a reduzir as emissões de carbono com compromissos formalizados. Esses movimentos acabam por fortalecer as redes reformistas de sustentabilidade, contribuindo de alguma forma para influenciar a construção de uma sociedade sustentável.

A partir dessas conferências, percebeu-se gradualmente a urgência por soluções para as questões ambientais tanto na área científica, quanto para o grande público. Como foi dito, o MDL, tema da próxima seção, foi criado justamente para possibilitar soluções ambientais no comércio, de forma que a produção continue, contudo, de forma mais sustentável e gerando possível lucro com o auxílio dos créditos de carbono.

1.2 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e os créditos de carbono

Antes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo¹⁸ (MDL), o Brasil propôs, em junho de 1997, a criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo (FDL) que se formaria por meio de recursos financeiros dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas quantificadas de reduções ou limitação de emissões de GEE. Tal fundo teria o objetivo de desenvolver projetos em países em desenvolvimento. (FRONDIZI, 2009, p. 23). Segundo Viola (2002b, p. 39), esse fundo teve apoio dos países emergentes e pobres, contudo, todos os países desenvolvidos criticaram a ideia veementemente. Esse desacordo levou à modificação da ideia do FDL.

Em outubro de 1997, Brasil e Estados Unidos elaboraram outra versão do FDL, mais nova, que passou a ser chamada de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

¹⁸Ou *Clean Development Mechanism* (CDM), em inglês.

(MDL). O MDL possibilitou aos países desenvolvidos que cumprissem apenas parte de suas metas de redução nas emissões de GEE, financiando o restante através da compra de créditos de carbono de países em desenvolvimento. (VIOLA, 2002b, p. 39)

O MDL, resumidamente, consiste na possibilidade de países que possuam compromisso com as metas de redução de GEE adquirir Reduções Certificadas de Emissões¹⁹ (RCEs), geradas em projetos implantados em países em desenvolvimento (seja através de empresas públicas ou privadas), de forma a cumprir parte de suas obrigações quantificadas de acordo com o Protocolo de Kyoto. (FRONDIZI, 2009, p. 23)

A ideia é que um projeto gere, quando implantado, um benefício ambiental (redução de emissões de GEE ou remoção de carbono) na forma de um ativo financeiro, denominado Reduções Certificadas de Emissões. Esses projetos devem implicar mais reduções de emissões do que ocorreria na ausência do MDL, garantindo benefícios mensuráveis e de longo prazo como resolução das questões de aquecimento global, nos termos do Protocolo de Kyoto. (FRONDIZI, 2009, p. 23)

O Artigo 12 do Protocolo define:

[...]

2. O objetivo do mecanismo de desenvolvimento limpo deve ser assistir às partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no artigo 3.

3. Sob o mecanismo de desenvolvimento limpo:

(a) As Partes não incluídas no Anexo I beneficiar-se-ão de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões; e

(b) As Partes incluídas no Anexo I podem utilizar as reduções certificadas de emissões, resultantes de tais atividades de projetos, para contribuir com o cumprimento de parte de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3, como determinado pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes neste Protocolo.

[...]

Protocolo de Kyoto, Art. 12.

¹⁹Uma unidade de RCE é igual a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP). O GWP serve para comparar e somar as quantidades dos diversos GEE em termos de dióxido de carbono equivalente.

No “Anexo I”²⁰ foram incluídos todos os países-membros considerados desenvolvidos, signatários do Protocolo de Kyoto, responsáveis pelo cumprimento das metas impostas.

Segundo Frondizi (2009, p. 24), O MDL é baseado no desenvolvimento de projetos e deve parte de seu sucesso à iniciativa do empresariado. As atividades desses projetos nos países em desenvolvimento devem apresentar benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo; e estarem diretamente relacionadas à diminuição na emissão de GEE ou carbono, como já foi dito. Os projetos de MDL podem envolver, por exemplo, substituição da energia de origem fóssil por energias mais limpas e sustentáveis.

O quarto relatório do IPCC (2007, p. 36) indica que, dentre os setores que mais emitem GEE, a geração de energia está em primeiro lugar com 25,9% (ver anexo C). Nesse sentido, projetos para a substituição da energia fóssil por energias mais sustentáveis tornam-se indispensáveis dentro do arranjo do MDL.

Os relatórios do IPCC foram de extrema importância para questões do clima. Devido a eles foram descobertas as mudanças climáticas oriundas das intervenções humanas no ambiente. O próximo tópico se aterá mais detalhadamente ao IPCC e seus relatórios.

1.3 O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

Em 1988, a partir da reunião de diversos cientistas, foi elaborado um informe que alertou sobre as mudanças climáticas que ocorreriam devido às interferências antropológicas no meio ambiente. Este foi nomeado originalmente de *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, e pode ser traduzido como Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (DIAS, 2006 *apud* VECCHIA, 2010, p. 72-74). A página virtual do IPCC informa que, além dessa primeira reunião em 1988, ocorreram outras cinco: em 1990, 1995, 2001, 2007 e 2013.

Essencialmente, o IPCC se trata de um grupo de cientistas, pesquisadores e representantes de governo de países-membros. Sua função é elaborar de maneira aberta, abrangente, objetiva e transparente informações científicas, socioeconômicas e técnicas indispensáveis para a compreensão científica dos riscos das mudanças do clima

²⁰Os países-membros do Protocolo de Kyoto foram divididos em países do Anexo I e países do Não Anexo I. Por países do Anexo I entende-se os países considerados desenvolvidos, os que possuem metas a cumprir, considerados os mais poluentes. Por países do Não Anexo I entende-se os países emergentes, mais pobres, sem metas de redução na emissão de carbono, contudo, os responsáveis pela criação dos créditos de carbono que ajudam os países do Anexo I a cumprirem suas metas.

causadas pela intervenção humana, seus possíveis impactos e as formas alternativas de adaptação. (IPCC, 2007, p. 26-27)

Com a totalidade de cinco relatórios bastante abrangentes e completos, o IPCC é o órgão com maior credibilidade sobre o tema, na visão da maioria dos cientistas. Contudo, os textos dispõem apenas de indícios de mudanças climáticas, de probabilidades, conclusões aproximadas, o que resulta em pressões por parte de algumas empresas petrolíferas, principalmente, que tentam desacreditar e invalidar os argumentos desses relatórios e, por consequência, o órgão. (VECCHIA, 2010, p. 74)

Segundo Angelo (2008 *apud* VECCHIA, 2010, p. 74-75), cada relatório do IPCC, produzido a cada cinco anos, divide-se em três partes, sendo a primeira aprofundada na parte física das mudanças globais do clima, a segunda voltada aos impactos do aquecimento global sobre os ecossistemas e a população global, e a terceira, que pesquisa formas de atenuar os efeitos do aquecimento.

Em relação aos setores que mais aportam para o efeito estufa em percentuais de irradiação de dióxido de carbono, a geração de energia está em primeiro lugar com 25,9%. (IPCC, 2007, p. 36), conforme já explicitado acima. Angelo (2008 *apud* VECCHIA, 2010, p. 75) aponta que a terceira parte dos relatórios, aquela que prevê as possíveis soluções para a depreciação dos efeitos do aquecimento global, mostra-se bastante otimista, esclarecendo que essa adversidade pode ser solucionada. No quarto relatório, energias diversificadas são sugeridas como alternativas de solução ao problema do efeito estufa. E, para Vecchia (2010, p. 75), ainda prevê que haverá um acréscimo da participação das energias renováveis na geração da energia da cana até 2030.

Como foi relatado acima, a partir da emissão crescente de GEE na área energética, vê-se a necessidade de mudanças nesse setor. As próximas seções tratarão das questões energéticas e os créditos de carbono, explicando a relação entre os dois e formas mais sustentáveis de produção benéficas tanto ao ambiente quanto ao desenvolvimento da área energética.

1.4 Os créditos de carbono e o setor energético como precursores para a “economia mundial de baixo carbono”

A expectativa depositada no mercado de carbono permanece constante e crescente quanto à redução das emissões de GEE, ou mesmo em relação à remoção parcial de carbono já existente no ambiente. Considerando o setor energético como o

responsável pela maior parte da emissão desses gases, segundo os dados do IPCC (2007, p. 36), a criação de créditos de carbono a partir desse setor torna-se indispensável. Desta maneira, países em desenvolvimento podem atingir formas sustentáveis de produção de energia, gerando créditos de carbono aos países com metas a cumprir e, conseqüentemente, contribuindo, a longo prazo, para uma economia internacional de baixo carbono.

Eduardo Viola (2011, p. 53) afirma que, no que diz respeito à transição para uma economia internacional de baixo carbono, é necessário um acordo numa escala muito maior que o Protocolo de Kyoto em que mais países participem. O acordo deveria ser apoiado em diversas mudanças comportamentais por parte dos países participantes, somado a desenvolvimentos econômicos e tecnológicos simultâneos e que se complementem. Menciona diversas medidas a ser tomadas para que ocorra a migração para uma economia de baixo carbono. Dentre elas destacam-se:

- [...]1. Acelerar o ritmo de crescimento da eficiência energética (esse crescimento acontece normalmente na história do capitalismo, mas seu ritmo precisa ser incrementado) no uso residencial e industrial, nos transportes e no planejamento urbano. Aumentar a reciclagem em todos os níveis da cadeia produtiva e no consumo;
 - 2. Aumentar a proporção das energias não-fósseis renováveis (eólica, solar, biocombustíveis e hidrelétrica) na matriz energética mundial. A energia hidrelétrica tem sido plenamente competitiva durante todo o século passado e a competitividade das energias eólica, solar e dos biocombustíveis desenvolveu-se extraordinariamente na última década em função de avanços em grandes e médias potências, faltando apenas, na maioria dos países, marcos regulatórios apropriados que criem os incentivos para que seu crescimento seja mais vigoroso. A experiência recente com os biocombustíveis mostra que apenas o etanol de cana é muito efetivo em termos de redução de emissões; o etanol de milho e beterraba e todo o biodiesel mostraram importantes limitações até o presente. Já o etanol de segunda geração – de celulose – aparece como uma alternativa fundamental (a dúvida, nesse caso, diz respeito à rapidez com que essa tecnologia estará disponível em grande escala);[...]
 - 9. Acelerar o desenvolvimento das tecnologias de captura e sequestro de carbono, separando o dióxido de carbono tanto do carvão quanto do petróleo e injetando-o novamente nas jazidas já exploradas que sejam de alta estabilidade do ponto de vista geológico;[...].
- (VIOLA, 2011, p. 53).

Nas medidas apontadas por Viola, nota-se como indispensável o investimento e incremento da área energética do país. O autor menciona a necessidade no investimento

tanto na área de biocombustíveis, quanto na parte de energia elétrica, destacando a necessidade de sequestrar carbono do ambiente. Nessa lógica, vê-se como imprescindível o investimento no setor energético do país, visando futuramente a que as principais fontes de energia sejam renováveis.

Desta forma, na continuidade deste trabalho serão abordadas duas formas de produção de RCEs ligadas ao setor energético brasileiro: a produção de crédito de carbono a partir da energia cogenerada proveniente do bagaço da cana-de-açúcar; e o crédito de carbono produzido a partir do etanol de terceira geração com o auxílio de microalgas. As duas produções serão comparadas a fim de analisar qual das formas gera mais créditos de carbono.

2 A VIABILIDADE DA COGERAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO CRÉDITO DE CARBONO NO BRASIL

Como já foi discutido anteriormente, a área energética tem o maior índice de emissões de GEE. Devido a isso, as buscas por alternativas sustentáveis de energia aumentaram. Produções a partir de biomassas passaram a ser destaque nas produções energéticas, principalmente a cana-de-açúcar, com uma maior eficiência comparada com as demais. Como complemento, produções mais limpas somadas à possibilidade de criação de créditos de carbono nesse setor tornaram-se de grande valia para o desenvolvimento sustentável brasileiro. Neste capítulo, serão discutidas as opiniões de diversos autores sobre a viabilidade desse tipo de produção e a possibilidade de obtenção de créditos de carbono. Além disso, será explicado como é realizado o processo de cogeração da produção de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

2.1 A cogeração de energia na indústria sucroalcooleira e suas consequências

No processo industrial da cana, existem três tipos de energia necessárias: energia térmica para os processos de aquecimento e concentração; energia mecânica nas moendas e outros sistemas de acionamento direto, como bombas e ventiladores de grande porte; e energia elétrica para acionamentos, bombeamento, sistemas de controle e iluminação, entre outros. Para que essas demandas energéticas sejam atendidas nas usinas sucroalcooleiras, desenvolve-se a produção de diferentes formas de energia simultaneamente em um único combustível, o bagaço. Essa tecnologia é denominada “cogeração” e representa uma importante diferença positiva em comparação às demais matérias-primas utilizadas na fabricação de açúcar e bioetanol que necessitam de contribuição energética externa no processo industrial. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 109)

O sistema de cogeração usualmente ocorre na pressão do vapor produzido nas caldeiras, “em síntese, utilizando o calor liberado pela combustão do bagaço nas caldeiras, produz-se vapor de alta pressão, utilizado em turbinas a vapor para geração elétrica e acionamentos mecânicos, cujo vapor de escape, à baixa pressão, atende aos usos térmicos”. A cogeração de energia permite que a produção de energia elétrica aumente por tonelada de cana produzida. E isso só é possível através de maiores investimentos nas usinas de cana. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 109)

Normalmente, o balanço de vapor das usinas é equilibrado, ou seja, a oferta de vapor atende à demanda energética. Segundo Leal (2007 *apud* BNDES; CGEE (org.), 2008), a melhora crescente na qualidade da cana-de-açúcar possibilitou aumento na produção de açúcar e, como consequência, o aumento na eficiência dos sistemas de geração e uso de vapor. Exemplificando com valores representativos das usinas brasileiras na atualidade, no processamento de uma tonelada de cana, resta-se em média 250 kg de bagaço (com 50% de umidade), que permite a produção entre 500 e 600 kg de vapor, atendendo a demanda que gira em torno de 400 e 600 kg de vapor (LEAL, 2007 *apud* BNDES; CGEE (org.), 2008). Desta forma, o cumprimento da demanda de vapor somado à adoção de caldeiras mais eficientes possibilita a obtenção de sobras de bagaço. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 109)

A condição da pressão de vapor na entrada pode ser escolhida de acordo com a caldeira utilizada gerando uma potência proporcional à sua energia térmica, em função de sua pressão e temperatura na saída da caldeira. Praticamente sem variar a quantidade de bagaço de cana, é possível aumentar a produção de eletricidade na agroindústria canavieira através da adoção de caldeiras e turbinas que operem com vapor a pressões e temperaturas mais elevadas. (BNDES; CGEE (org.) 2008, p. 109)

O sistema de cogeração é mais eficiente que o sistema de geração termelétrico convencional (ver anexo A). As tecnologias convencionais convertem em energia útil cerca de 30% da energia fornecida pelo combustível (limitando-se a até 50%), desperdiçando parcela relevante de energia térmica para o meio ambiente. A cogeração destina o calor rejeitado para o atendimento das necessidades térmicas de processo e permite obter eficiências superiores a 85% no uso da energia do combustível, com evidentes benefícios na redução dos impactos ambientais. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 111)

A F.O. Litch²¹ (2008 *apud* BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 113) afirma que existem perspectivas de que a produção de bioeletricidade trará resultados econômicos bastante satisfatórios, com valores comparados à produção de açúcar. Walter e Horta Nogueira (2007 *apud* BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 113) estimam que, a longo prazo, em 2025, a capacidade instalada pode chegar a 38,4 GW, supondo a utilização do bagaço para a produção de bioetanol por hidrólise e caldeiras com 60% da palha disponível, ou pode chegar a ainda mais, 74,7 GW, se todo o bagaço for utilizado

²¹A F.O. Litch é uma renomada consultoria alemã de indústria agroalimentar.

somado a 60% da palha (resíduo gerado na colheita da cana) para produzir eletricidade. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 113)

Além das vantagens econômicas, o comunicado do Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) nº 80, “Utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”, da série “Eixos do Desenvolvimento Brasileiro”, apresentado em 23 de fevereiro de 2011, aponta que o exemplo brasileiro mais marcante com relação ao MDL é o aumento da produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com destaque para a indústria de açúcar devido ao aumento na eficiência do resíduo de bagaço. Aponta ainda que este setor tem se beneficiado de créditos de carbono. (IPEA, 2011b, p. 16)

O BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e o CGEE (Centro de Gestão Estratégica e Estudos Estratégicos) ([org.] 2008, p. 116) afirmam que o uso de bagaço para a produção de eletricidade através da cogeração de energia reduz as emissões de carbono para a atmosfera, substituindo o óleo combustível queimado nas termelétricas convencionais, acionadas em época de safra, quando há baixa produção de hidroeletricidade (a principal fonte de energia elétrica do Brasil). Há, nessa lógica, redução de 0,55 toneladas de carbono equivalente por tonelada de bagaço utilizado. Afirmam também que essa redução de GEE é propícia para a obtenção de créditos de carbono, de forma adicional (a diminuição desses gases é somada às emissões que ocorreriam na ausência da atividade) e com uma metodologia de linha de base já aprovada e consolidada (método AM0015 – “Cogeração com base em bagaço interligada a uma rede elétrica”), para a certificação desses créditos nos termos do MDL.

2.2 Cogeração de energia na indústria sucroalcooleira: revisão de literatura

Segundo o BNDES e o CGEE, no Brasil existem vários projetos de cogeração com bagaço de cana registrados na UNFCCC, responsáveis pela redução de toneladas nas emissões de carbono anualmente. Afirmam também que a produção de energia cogenerada a partir da cana-de-açúcar tem um limite muito maior que a geração média existente hoje. (BNDES; CGEE (org.), 2008, p. 117)

Batista (2007 *apud* SANT ANNA, 2011, p. 7) defende que a produção de eletricidade sucroalcooleira através do processo de cogeração reduz os impactos ambientais, podendo ser vendida no mercado de créditos de carbono. Analisa ainda que esse mercado pode ser uma oportunidade de contribuição ao setor sucroalcooleiro brasileiro, não só como fonte de renda, mas também para a melhora da imagem dessa

energia diante da opinião pública. Além disso, Sant Anna defende que a produção desse tipo de energia diversifica a matriz energética, podendo tornar-se um segmento de negócios para as usinas.

Iraci de Souza João (2009, p. 11) afirma que a produção de bioeletricidade a partir do bagaço de cana é vantajosa quanto às emissões de carbono no ambiente, isso por substituir o uso de combustíveis fósseis por renováveis, atendendo aos requisitos do MDL e contribuindo com a diminuição de GEE. A cogeração de eletricidade facilita a execução de projetos para a geração de créditos de carbono. (JOÃO, 2009, p. 11)

Walter e Nogueira (2011, p. 574 a 575) defendem que a realidade presente no século XXI é bastante distinta das expectativas. Devido a isso, economicamente a produção de energia elétrica, mesmo a partir da cogeração, é inviável em razão dos elevados preços, considerando que, para os autores, vive-se uma realidade de tecnologias não-maduras. Contudo, defendem que essa mudança no setor energético é necessária pela necessidade de redução das emissões dos GEE e nesse contexto a geração de energia da biomassa deve se expandir.

Teixeira, Primo e Lora (2011, p. 646) defendem que a substituição de combustíveis fósseis pela biomassa, com a utilização de técnicas modernas de conversão energética, é importante para a redução das emissões de carbono. Apontam ainda que a média de emissões que poderão ser evitadas com a produção de eletricidade e etanol a partir da biomassa está prevista em 0,7 Gt C/ano em 2025.

Teixeira, Alves e Santos (2011, p. 684) destacam que, dentre as tecnologias utilizadas no desenvolvimento de projetos do MDL, os de aproveitamento da biomassa energeticamente possuem potencial significativo, pois há notável diminuição das emissões. Citam ainda que é possível se observar esse fato quando, ao compará-los com os projetos de hidroeletricidade que reduzem somente 5% das emissões de GEE, os de biomassa reduzem 64%. Os autores destacam o “Projeto Usina Vale do Rosário”²² (que trabalha com a cogeração de bagaço de cana-de-açúcar), que foi eleito o melhor MDL no concurso de “Melhor Projeto do MDL de 2004” organizado pela *Point Carbon* na conferência *Carbon Markets Insights* realizada em Amsterdã, na Holanda. (TEIXEIRA; ALVES; SANTOS, 2011, p. 688)

Para Janaína Garcia de Oliveira (2007, p. 43), a cogeração de energia através do bagaço de cana traz vantagens ambientais porque substitui combustíveis fósseis por

²²A Usina Vale do Rosário se localiza em Morro Agudo, SP.

combustível renovável (bagaço), o que contribui para a redução nas emissões de GEE. A autora defende que a produção por cogeração facilita a geração de projetos de MDL e gera créditos de carbono para empresas nesse setor.

Antônio José Juliani (2008, p. 12) defende que a tecnologia de cogeração utilizada na geração de energia através do bagaço permite que haja a redução das emissões de GEE e, ademais, a obtenção de créditos de carbono. Para ele, esses fatos se constituem em externalidades que podem beneficiar a sociedade.

Apesar das diversas vantagens mencionadas por diversos autores, a cogeração de energia na indústria de cana-de-açúcar possui consideráveis desvantagens, principalmente em relação ao meio ambiente, uma vez que (apesar de comprovadamente produzir créditos de carbono) para que ocorra esse tipo de produção é necessário que haja a queima do bagaço, o que acaba por emitir (mesmo que em menor quantidade) gases poluentes. No próximo tópico serão apresentadas algumas das desvantagens desse processo produtivo.

2.3 Conclusões acerca da cogeração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar

Como é possível observar nos itens 2.1 e 2.2, a defesa da cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar nos aspectos ambientais, sociais e econômicos é bastante frequente entre diversos autores, principalmente quanto à questão ambiental de diminuição das emissões de gases GEE. Observou-se também que vários autores defendem a possibilidade da obtenção de créditos de carbono nesse tipo de produção, alegando que a produção cogorada de açúcar, etanol e energia elétrica evita o escape de gases poluentes no ambiente (em comparação a produção convencional dessas de energias na indústria sucroalcooleira), mesmo que para que esse tipo de produção a queima de combustível (bagaço) através de caldeiras seja indispensável.

Quanto às questões econômicas, a maioria dos autores defende que a produção de energia cogorada disponibiliza a venda de excedentes de eletricidade para outras empresas e, ademais, colabora com o setor elétrico, isso porque a principal produção brasileira é a energia hidroelétrica que, como foi dito, em alguns períodos tem baixa em sua eficiência. Nesse sentido, a energia elétrica do setor sucroalcooleiro solucionaria esse empecilho, já que a maior parte da produção de cana ocorre justamente nesse período de baixa eficiência da hidroeletricidade. E quanto às questões sociais, haveria a possibilidade de aumento na geração de empregos nas usinas sucroalcooleiras, segundo

alguns autores. Esses autores argumentam que o investimento nesse tipo de usina demandaria mais funcionários e conseqüentemente geraria mais empregos. Contudo, sabe-se que a preferência por máquinas nesse tipo de emprego é maior, o que resultaria, efetivamente, em poucas vagas para novos trabalhadores. Como resultado, há opiniões contrárias na literatura a respeito da eficiência desse tipo de produção para a geração de emprego.

Apesar das diversas defesas em relação às vantagens ambientais e geração de créditos de carbono na produção de energia nas usinas sucroalcooleiras, sabe-se que, mesmo na cogeração, é necessária, como já foi dito, a queima do bagaço. Em vista disso, pode ser que haja a geração de créditos de carbono mesmo assim, contudo, ainda que emita menos gases no ambiente, permanecerá existindo a emissão desses GEE. Em consideração a isso, tendo como foco a obtenção de créditos de carbono, esse tipo de produção não seria a melhor escolha.

Ademais, segundo Liboni e Cezarino (2012, p. 207) e a página virtual da Agência Brasileira de Informação Tecnológica (AGEITEC), existem vários impactos ambientais provocados pelo setor sucroalcooleiro, alguns deles:

- efeitos na qualidade do ar e no clima global, devido à emissão de GEE principalmente pelas queimadas da palha da cana no campo;
- degradação uso do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas;
- biodiversidade, pelo desmatamento e implantação da monocultura;
- contaminação dos recursos hídricos, pelo excesso na utilização de adubos químicos, fertilizantes;

A partir dos itens descritos acima, nota-se que a principal questão em relação à indústria de cana-de-açúcar não é apenas quanto diminuição da emissão de GEE comparando a produção cogenerada de energia e a produção de energia elétrica somente, mas questões anteriores, desde o plantio, que já causam notáveis impactos, independentemente da existência da cogeração.

A produção cogenerada é mais vantajosa para aspectos econômicos, pois pode resolver diversos inconvenientes recorrentes quanto à produção de eletricidade, principalmente. Já quanto às políticas públicas, Scaramucci e Cunha (2011, p. 699) defendem que o sistema de geração de energia causará poucos impactos na geração de renda e emprego.

Com relação à eficiência energética para a produção de créditos de carbono, existem pesquisas a respeito de outra forma de produção de energia, mais especificamente de biocombustíveis, com mais vantagens em relação à energia cogerada da cana. O investimento nessa nova possibilidade energética, segundo a maioria dos autores, traria principalmente mais vantagens ambientais para o Brasil e para o meio ambiente de uma forma geral, além da geração de créditos de carbono.

3 A POSSIBILIDADE DA OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS

Outra forma de produção energética que é potencialmente produtora de créditos de carbono é o biocombustível produzido através de microalgas. Esse tipo de produção ocorre através da adição desses organismos a biomassas resultantes dos diversos processos produtivos nas indústrias sucroalcooleiras, por exemplo. Este capítulo tratará especificamente da produção de bioetanol com a utilização dessas microalgas, um biocombustível de terceira geração²³.

É importante esclarecer que o etanol a partir das microalgas ainda não é produzido (somente a produção de biodiesel através de microalgas já ocorreu, mas em escala piloto, não industrial). Apesar disso, diversas pesquisas apontam as inúmeras e perceptíveis vantagens para esse tipo de produção, principalmente com relação ao meio ambiente, que serão expostas ao longo do capítulo.

3.1 A energia das microalgas como potencial gerador de créditos de carbono

Pesquisas em todo mundo indicam que as microalgas possuem grande potencial sustentável. Segundo Chisti²⁴ (2004, *apud* SCHMITZ; DAL MAGRO; COLLA, 2012, p. 49), esses organismos produzem muito oxigênio, mais que todas as plantas existentes no mundo juntas, sendo responsáveis por, no mínimo, 60% da produção primária do planeta. Ademais, no processo de fotossíntese desses organismos há o sequestro de carbono, o que significa que além de retirarem carbono do ambiente, ainda o substituem por oxigênio, tornando-se, ao menos até o momento, a melhor alternativa sustentável para a limpeza do ambiente no que diz respeito à emissão de GEE. Além disso, essas algas são facilmente encontradas, o que facilitaria esse tipo de produção.

Muitos defendem que as microalgas são a solução viável para a produção de biomassa. Esse processo é caracterizado como gerador de diversos biocombustíveis

²³ Segundo Santos (2012, p. 22), os sistemas de primeira geração são baseados em processos tecnológicos de transformação de óleos ou açúcares em biocombustíveis; os de segunda geração envolvem o uso de biomassa que leva ao aproveitamento de podas de vegetação, restos de madeira, material fisiológico, entre outros resíduos; a terceira geração de biocombustíveis é relacionada a avanços realizados na fonte (produção de biomassa), tecnologia que está sendo viabilizada através do cultivo de microalgas. Ainda segundo o autor, a proliferação dos sistemas de terceira geração depende de recursos tecnológicos possivelmente menos exigentes que os sistemas de segunda geração e, conseqüentemente, alcançáveis em mais curto prazo e a custos menores quando comparados com os processos de quarta geração, que envolvem modificações genéticas nas espécies produtoras de óleo.

²⁴ *School of Engineering, Massey University, Nova Zelândia*

como o biodiesel, bioetanol, bioquerosene, bioplásticos e intermediários químicos para o setor petroquímico. (CHISTI, 2007, 2008; DISMUKES²⁵ *et al.*, 2008; HUNTLEY²⁶; REDALJE²⁷, 2007; MATA²⁸ *et al.*, 2010 *apud* SANTOS, 2012, p. 22). Outros autores defendem que apesar das vantagens das microalgas para a produção de biocombustíveis (comparada a plantas), os custos do sistema de cultivo, sobretudo dos sistemas fechados, podem levar a um balanço energético negativo, a não ser que insumos como carbono e nutrientes, produzidos industrialmente como restos, sejam aproveitados. (REIJNDERS, 2009; ZEMKE *et al.*, 2009 *apud* SANTOS, 2012, p. 22) Isso porque, segundo Stern (2006 *apud* SANTOS, 2012, p. 22), estima-se que os valores estimados para a expansão desses biocombustíveis sejam de US\$ 500 bilhões.

Harun *et al.*²⁹ (2010 *apud* DRAGONE *et al.*, 2010, p. 10) defendem que no processo de produção de bioetanol, as microalgas participam da fermentação. Elas fornecem hidratos de carbono e proteínas que têm capacidade para ser utilizadas como fontes de carbono para a fermentação de bactérias, fungos ou leveduras. Uma espécie de microalga que tem sido bastante considerada nas pesquisas é a *Chlorella vulgaris*. Segundo Hirano³⁰, Ueda³¹, Hirayama³² e Ogushi³³ (1997 *apud* DRAGONE *et al.*, 2010, p. 10) essa espécie de microalga possui um grande potencial de matéria prima para a produção de bioetanol, isso porque acumula níveis altos de amido³⁴. Dragone *et al.* (2010, p. 10) defendem que a produção de bioetanol por meio de microalgas também pode ser realizada através da auto-fermentação³⁵.

Segundo Dragone³⁶ *et al.* (2010, p. 10), mesmo com relatórios limitados sobre a fermentação de microalgas, são observadas várias vantagens na produção de bioetanol a

²⁵Department of Chemistry and Princeton Environmental Institute, Princeton University, EUA.

²⁶International Center of Climate and Society, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

²⁷Department of Marine Science, University of Southern Mississippi, EUA.

²⁸Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

²⁹Bio Engineering Laboratory (BEL), Department of Chemical Engineering, Monash University, Austrália e Department of Chemical and Environmental Engineering, University Putra Malaysia, Malásia.

³⁰Energy and Environment R&D Center, Tokyo, Electric Power Co., 4-1 Egasaki-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230, Japão.

³¹Advanced Technology Research Center, Mitsubishi Heavy Industries Ltd, 1-8-1 Sachiura Kanazawa-ku, Yokohama 236, Japão.

³²Idem 31.

³³Hiroshima R&D Center, Mitsubishi Heavy Industries Ltd, 4-6-22 Kan-on-shinmachi, Hiroshima 733, Japão.

³⁴Amido é uma cadeia longa de açúcar.

³⁵Auto-fermentação é quando a biomassa transforma açúcar em álcool (fermentar) sem o auxílio de leveduras.

³⁶Institute for Biotechnology and Bioengineering Centre of Biological Engineering, University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

partir delas. Os autores afirmam que o processo de fermentação requer menos consumo de energia e é mais simplificado em relação ao sistema de produção de biodiesel. Ademais, o gás carbônico produzido como subproduto no processo de fermentação pode ser reutilizado como fonte de carbono para as microalgas no processo de cultivo e assim reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Como já mencionado, a produção de bioetanol a partir de microalgas ainda está sob investigação e esta tecnologia ainda não foi comercializada (CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011, p. 546), contudo, o potencial desse tipo de produção é grande e sequestra grandes quantidades de carbono.

3.2 A produção de energia através de microalgas e sua viabilidade sustentável: revisão de literatura

A literatura disponível a respeito da produção de bioetanol com o auxílio de microalgas é bastante escassa no Brasil ainda, provavelmente isso se deve ao fato de essa tecnologia ainda estar sob investigação. Contudo, na literatura estrangeira (como é possível se observar nas notas de rodapé), a maioria dos autores defendem esse tipo de produção.

O processo de produção do bioetanol das microalgas acontece da seguinte forma (VARFOLOMEEV³⁷; WASSERMAN, 2011 *apud* SCHMITZ³⁸; DAL MAGRO; COLLA, 2012, p. 53):

[...] a biomassa microalgal é utilizada como fonte de carboidratos, os quais são hidrolisados enzimaticamente a partir de amilases, celulasas e pectinases para conversão em carboidratos simples, os quais são posteriormente fermentados por *Saccharomyces cerevisiae* [uma levedura]. Para esta aplicação, características como acúmulo [de carboidratos [...]] são importantes [...].

VARFOLOMEEV; WASSERMAN, 2011 *apud* SCHMITZ, DAL MAGRO; COLLA, 2012, p. 53.

Simplificando a citação acima: por biomassa entende-se qualquer massa biológica; microalgal quer dizer da microalga; ou seja, biomassa microalgal seria a massa biológica da microalga; hidrolisar o carboidrato (rico em açúcar) é liberar o

³⁷Varfolomeev e Wasserman são do *Emmanuel Institute for Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Rússia*.

³⁸Biólogo. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia/Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Brasil.

açúcar que há dentro da microalga que é fonte de carboidratos; amilase, celulase e pectinase são tipos de enzimas (as responsáveis por quebrar o carboidrato) e estas são convertidas em açúcar; as leveduras são microrganismos responsáveis por transformar açúcar em álcool, ou seja, são elas que transformam o açúcar liberado do carboidrato presente na microalga em etanol. Consequentemente, quanto mais carboidrato, mais açúcar e mais etanol (ver anexo B).

Schmitz, Dal Magro e Colla (2012, p. 53) defendem que o uso de microalgas na produção de biocombustíveis possui várias vantagens, algumas delas:

- 1- crescimento acelerado e elevada concentração de lipídios;
- 2- não há necessidade de preocupação com o solo, nem conflitos com a produção de alimentos;
- 3- o mecanismo fotossintético é similar ao das plantas superiores, o que converte gás carbônico em carboidratos e lipídios;
- 4- remoção de grandes quantidades de gás carbônico do meio ambiente;
- 5- podem ser produzidas a partir de resíduos de outros processos de produção ou efluentes.

Santos³⁹ (2012, p. 23) apresenta vantagens e limitações dos sistemas de terceira geração de biocombustíveis utilizando microalgas:

- 1- Possuem maior eficiência de conversão da luz solar em relação a oleaginosas⁴⁰, há relatos de espécies de microalgas que produzem 15 a 300 vezes mais óleo que algumas oleaginosas;
- 2- Crescem também em água salgada ou água de esgotos, o que reduz a necessidade do uso de água doce;
- 3- Sequestram entre 10 e 20 vezes mais carbono que oleaginosas;
- 4- Sua coleta pode ocorrer em qualquer período do ano, o que possibilita o suprimento contínuo de óleo; seus ciclos de produção são curtos, as microalgas podem se reproduzir várias vezes ao dia;
- 5- Produzem biocombustíveis biodegradáveis e não-tóxicos;
- 6- As diversas espécies de microalgas podem produzir proteínas, celulose, amido, lipídios e hidrocarbonetos, ademais, algumas cianobactérias produzem

³⁹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Brasil

⁴⁰Oleaginosas são plantas com alto teor de óleo. Alguns exemplos são o amendoim, o girassol e a soja.

glicogênio em vez de amido, possibilitando a geração de biohidrogênio em condições anaeróbicas⁴¹.

Franco⁴² *et al.* (2013, p. 439) afirmam que as microalgas são organismos muito flexíveis e se adaptam a vários habitats, são encontradas em ambientes úmidos terrestres e em ambientes aquáticos, sejam em água doce, salobra e salgada. Esta capacidade traz vantagens em comparação aos demais tipos de cultivos utilizados para as produções energéticas, tendo potencial para minimizar o uso e os impactos ambientais decorrentes nos recursos naturais de solo e água.

Segundo a Associação Europeia de Biomassa Algácea⁴³ (2010 *apud* MCT, 2010, p. 51), as microalgas possuem elevados níveis de óleo e produção de biomassa, grande disponibilidade, baixa concorrência (ou nula) com terras agrícolas de alta qualidade, versatilidade de seus produtos, eficiência na captura de gás carbônico e facilidade para se adequar a tratamentos de águas residuais de indústrias. Isso faz com que sejam uma das fontes renováveis mais atraentes e promissoras para uso totalmente sustentável e com economia de carbono.

De acordo com Marques⁴⁴ (2012, p. 15), a terceira geração de biocombustíveis através do cultivo de microalgas depende de recursos tecnológicos menos exigentes que os sistemas de segunda geração e, por isso, possivelmente serão alcançados em prazos menores.

Com relação à produção de biodiesel de microalgas, que foi produzido em escala piloto, Marques (2012, p. 15 e 16) afirma que estudos recentes demonstram que 0,3% da área do mundo seriam suficientes para cultivar microalgas com 50% de lipídios totais em peso seco, e a biomassa desses organismos poderia produzir biodiesel suficiente para suprir todo combustível usado em transporte no planeta.

Quanto à questão financeira, Marques (2012, p. 14) afirma que os biocombustíveis estão evoluindo, construindo um novo mercado, no qual o foco está na produção de sistemas de segunda e terceira geração. A expansão desses mercados de

⁴¹ Condições ausentes de oxigênio.

⁴² Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus - BA, Brasil.

⁴³ *European Algae Biomass Association – EABA*

⁴⁴ Programa de Pós-Graduação de Biotecnologia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

baixa emissão de carbono tem valores estimados em US\$ 500 bilhões ou mais para 2050, segundo o *Stern Review*⁴⁵ (2006, p. 26).

No informativo da Embrapa (2012, p. 8), Cristina Machado⁴⁶ afirma que os estudos sobre microalgas ocorrem desde a década de 60 e possuem grande vantagem, pois podem produzir diversos tipos de biocombustíveis. Machado afirma que para viabilizar a produção de biocombustíveis através de microalgas deve-se ter como prioridade a sustentabilidade, isso porque o custo para que ocorra esse tipo de produção ainda é alto. Fontes independentes (NREL⁴⁷, 1998; TAMPIER⁴⁸, 2009 *apud* SANTOS, 2012, p. 25) afirmam que existem resultados negativos devido às dificuldades com relação à produção comercial de biocombustíveis a partir de microalgas, basicamente com relação ao custo do sistema produtivo, como menciona Machado no início do parágrafo. Santos (2012, p. 25) justifica que esse alto custo advém dos sistemas de cultivo das microalgas, principalmente dos sistemas fechados.

Santos (2012, p. 25) defende a adoção de soluções inovadoras que diminuam os custos com a oferta de carbono e de nutrientes (que envolvam 60% dos custos de produção da biomassa) ou dos custos dos processos (colheita, secagem e retirada do óleo) responsáveis por cerca de 30% dos custos de produção. Chisti (2007 *apud* SANTOS, 2012, p. 25) afirma ainda que essa diminuição de custos pode ser feita em sistemas fechados⁴⁹ e controlados por fotobiorreatores⁵⁰, cuja produtividade é maior que a de sistemas em tanques abertos, ou em sistemas híbridos de produção, em que uma cultura controlada em fotobiorreatores, espalhada em tanques abertos, promove uma reprodução rápida e eficaz, a ponto de impedir a contaminação por espécies não desejadas.

Alam⁵¹ *et al.* (2012, p. 226) acreditam que as microalgas têm grandes potencialidades para a produção de biocombustíveis. No entanto, estes potenciais dependem em grande parte da utilização de tecnologia, matérias-primas de entrada (gás carbônico, água residual, água salgada, luz natural), terras estéreis e ambiente marinho.

⁴⁵ O *Stern Review* foi um relatório feito por Nicholas Stern juntamente com o governo inglês sobre as mudanças climáticas.

⁴⁶ Pesquisadora e engenheira química da Embrapa.

⁴⁷ *National Renewable Energy Laboratory*, EUA

⁴⁸ Martin Tampier é um consultor energético de Quebec, Canadá.

⁴⁹ Sistemas fechados são sistemas que não estão ao ar livre; são livres de intervenções externas.

⁵⁰ Segundo o DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), fotobiorreatores são dispositivos para gerar produtos biológicos que usam luz como fonte de energia. São usados para produzir biomassa de forma controlada, como o cultivo de algas, cianobactérias ou musgos.

⁵¹ School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University, Melbourne, Austrália.

Microalgas podem ser fontes temporárias de energia e podem resolver algumas das preocupações levantadas pelo uso de biocombustíveis de primeira e segunda geração.

Nascimento⁵² *et al.* (2009, p. 18) defendem que já foi demonstrado que é possível obter óleo das microalgas a um custo menor do que a produção de óleo de oleaginosas. Devido a isso, defende que é possível se alcançar a viabilidade econômica dessas algas. Afirmam também que o cultivo de microalgas não exige grandes áreas, não há competição com a produção alimentícia, há a possibilidade de reutilização da água e o reaproveitamento da biomassa (após a extração do óleo) e ainda há o sequestro de carbono, assegurando a viabilidade ambiental. Ademais, apontam que os cultivos de microalgas podem ser implantados em áreas semiáridas (o que possibilita a produção no nordeste brasileiro, por exemplo), gerando emprego e renda, o que favorece a viabilidade social desse tipo de produção.

3.3 Conclusões acerca da potencialidade das microalgas na produção de créditos de carbono na indústria de bioetanol

A produção de bioetanol através de microalgas, apesar de ainda não ser uma realidade concreta, possui grande potencialidade ambiental e energética. A necessidade de novas formas energéticas sustentáveis e, principalmente, produtoras de créditos de carbono é bastante abordada não só na literatura brasileira, como também na mundial.

No Brasil já existem grupos que pesquisam esse tipo de produção. De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia (2010, p. 75), um exemplo é o Proalga, que estuda a produção de etanol a partir de microalgas, liderado pelo pesquisador Maulori Curie Cabral⁵³ e, ainda na área de energia, há o grupo Química Verde e Biotecnologia, que pesquisa o desenvolvimento de processos limpos, liderado por Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo e José Luiz de Medeiros⁵⁴, que apresenta estratégias de formas de industrialização ecológicas centradas na biomassa de microalgas e voltadas, inclusive, para o sequestro de gás carbônico.

Além disso, a página virtual do governo brasileiro noticiou em 2010 que a Petrobrás também pesquisa a produção de biocombustíveis (inclusive bioetanol) com as

⁵²Doutora pela USP na área de Meio Ambiente. Pós Doutorado na University of North Texas, EUA, Bolsista PQ do CNPQ, professora titular da UFBA e diretora de pesquisa e coordenadora do mestrado profissional em bioenergia da FTC.

⁵³ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mais informações em: <http://plsql1.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=0202212V2BNX4E>

⁵⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mais informações em: <http://plsql1.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=0202306LXDETL1>

microalgas e que os pesquisadores acreditam que esta é a matéria-prima com maior potencial para esse tipo de produção e, conseqüentemente, que o investimento é compensatório.

No exterior o investimento nesse tipo de produção está em alta e já houve a produção do biodiesel de microalgas. Segundo o Ministério da Ciência e da Tecnologia (2010, p. 51 e 52), os Estados Unidos anunciaram em janeiro de 2010 que fariam um investimento de US\$ 44 milhões no desenvolvimento de biocombustíveis de algas que será demonstrado pela Aliança Nacional de Biocombustíveis e Bioprodutos (NAABB). O MCT afirma que a NAABB vai desenvolver e demonstrar a ciência e as tecnologias necessárias para ampliar a produção de biomassa de algas e lipídeos, com eficiência no processo de colheita e de extração de algas e produtos de algas e estabelecer coprodutos certificados (alimentação animal, matérias primas industriais e geração de energia adicional) juntamente com a produção de biocombustíveis.

Em vista de tudo que já foi citado, o investimento do Brasil na produção de bioetanol através de microalgas parece necessário para o desenvolvimento do país quanto ao setor energético sustentável. Na atualidade, esse tipo de produção na área de energia tem mais potencialidade para a criação de créditos de carbono comparado às demais produções existentes na área. Quanto à questão econômica, a probabilidade da obtenção de resultados positivos é bastante grande, mas a longo prazo, pois os atuais preços para esse tipo de produção ainda são bastantes custosos, como já foi mencionado.

CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, relatou-se a ligação das mudanças climáticas e da produção energética. Observou-se que o setor que mais contribui para o aquecimento global (devido à irradiação de dióxido de carbono), segundo o IPCC (2007, p. 36), é a geração de energia com o percentual de 25,9%. A partir desse dado, foi reforçada a importância de produções mais sustentáveis nesse setor e a possibilidade da criação de créditos de carbono através de formas energéticas mais limpas.

Comparou-se a potencialidade de duas produções energéticas como fornecedoras de créditos de carbono: o bioetanol a partir das microalgas e a cogeração de produção de energia nas usinas de cana de açúcar. A primeira forma de energia ainda não é produzida, contudo, tem clara eficiência quanto ao sequestro de carbono no ambiente e a consequente produção de créditos de carbono. Já a segunda forma, além de já ser produzida, já comercializa esses créditos, contudo não sequestra carbono do ambiente, apenas diminui a quantidade de GEE emitida.

A partir disso, conclui-se que mesmo a cogeração de energia da cana emitindo menos dióxido de carbono no ambiente que outras produções energéticas, e já produzir créditos de carbono comercializados, ainda há queima (da cana) mesmo que a produção de energia ocorra de forma cogerada. Este fato deve ser evitado, posto que, mesmo emitindo menos GEE em comparação a outras formas de energia, a emissão ainda existe, o que prolonga (e talvez piore) os problemas ambientais atuais.

Ademais, como já foi dito, a produção energética a partir da cana tem impactos sobre a água, solo, biodiversidade, equilíbrio ecológico. Os desafios das mudanças climáticas são de extrema complexidade e exigem um grande leque de medidas de combate. A cogeração de energia a partir do bagaço pode ter uma participação, todavia, é importante demonstrar os limites e prejuízos gerados pelo modelo sucroalcooleiro, principalmente para evitar que fundos públicos e incentivos fiscais (BNDES) sejam aplicados nesse modelo que já é lucrativo sem incentivos estatais.

Em compensação, a possibilidade da produção de energia a partir das microalgas é mais positiva no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável e à produção de créditos de carbono. As microalgas, em seu processo fotossintético, sequestram o dióxido de carbono que já existe, ou seja, acabam por trocar o carbono por oxigênio. Sem dúvidas, para a produção de créditos de carbono e favorecendo as temáticas

ambientais, as microalgas são mais eficientes. Contudo, existem empecilhos, como foi relatado, relacionados aos custos de produção.

Não obstante, deve-se ter em mente que a maioria dos processos produtivos energéticos são bastante custosos inicialmente. Somente com o investimento é possível que haja a diminuição dos altos custos. Formas de diminuição na quantidade de GEE (principalmente dos já existentes no ambiente) não só são importantes como são imprescindíveis nas atuais circunstâncias.

Em contrapartida, as negociações ambientais são bastante complexas. Isso porque tocam interesses de praticamente todos os atores e resvalam em quase todos os temas centrais e polêmicos do sistema internacional: produção econômica, desenvolvimento, construção de regimes, cumprimento das normas de direito internacional e arranjos de governança, atores não-estatais etc. Essa complexidade também inclui a dificuldade de modificar estruturas sociais concentradoras de renda e capital.

Possivelmente, por esse motivo, nem sempre a melhor opção do ponto de vista ambiental (mesmo se comprovado pelas pesquisas científicas, como é o caso da produção energética com microalgas) consegue se disseminar como prática entre as políticas públicas dos Estados, pois esbarram em uma série de interesses político-econômicos, e, além disso, exigem altos investimentos iniciais. É perfeitamente possível exemplificar essa situação através do recente investimento do governo brasileiro no Pré-Sal. Apesar da demanda por energias limpas, da problemática ambiental, o investimento governamental em petróleo é persistente, o que apenas comprova o que já foi dito.

Apesar da lentidão das negociações que favorecem as causas climáticas e ambientais, é inegável a crescente presença desse debate nas sociedades nacionais e nas Relações Internacionais. Por conta disso, parece ser possível argumentar que a discussão ambiental (talvez até mais do que os direitos humanos) constituam, segundo Viola, Franchini e Ribeiro (2012c), o novo vetor civilizatório da humanidade.

A temática ambiental, devido a sua transversalidade (perpassa várias áreas do conhecimento), a sua multidisciplinaridade (agrega várias áreas do conhecimento) e a sua interdisciplinaridade (fomenta o surgimento de novas abordagens e metodologias inovadoras resultantes das interconexões entre diferentes disciplinas), exige que as Relações Internacionais dialoguem com outras disciplinas, inclusive de cunho mais “técnico” e “aplicado”.

Por outro lado, a temática ambiental, por tudo dito no item anterior, não está isenta de tensões políticas nem a nível doméstico, nem a nível internacional. Por isso, as Relações Internacionais são um campo de conhecimento indispensável para compreensão da questão ambiental. Em especial, as pesquisas em RI devem tentar se abrir, preservando cuidados teóricos e metodológicos, para o campo das políticas públicas e da governança global. Adquirindo, dessa forma, a capacidade de, por exemplo, recomendar normativamente ao Estado brasileiro investir nas microalgas, como foi a proposta deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). Impactos ecológicos. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT1.html>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2014.

ALAM, Firoz *et al.* Biofuel from algae - is it a viable alternative?. **Procedia Engineering**, v. 49, p. 221-227, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812047881>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

ANGER, Niels; SATHAYE, Jayant. Reducing Deforestation and Trading Emissions: Economic Implications for the post-Kyoto Carbon Market. **Zew discussion papers**, n. 08-016, 35p., 2008. Disponível em: <<http://www.zew.de/en/publikationen/publikation.php3?action=detail&nr=4280>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, ed. 1, 316p., 2008. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/5126>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

BMFBOVESPA. Mercado de carbono. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/mercados/mercado-de-carbono/mercado-de-carbono.aspx?idioma=pt-br>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

BORGES, Fernando Hagihara; TACHIBANA, Wilson Kendy. **A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios: uma abordagem histórica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. n. 25, p. 5235-5242, Porto Alegre: out./nov. 2005. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2005_enegep1005_1433.pdf>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência, tecnologia e inovação. **Mecanismo de desenvolvimento limpo**. Art. 12. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/28744/Artigo_12___Mecanismo_de_deenvolvimento_limpo.html>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil**. Brasília: Ministério da Saúde, 134p., 2010. Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caracterizacao_estado_arte_biotecnologia_marinha.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. Protocolo de Quioto. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

CARDOSO, Aderlânio da Silva; VIEIRA, Gláucia Eliza Gama; MARQUES, Anelise Kappes. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. **Revista brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 542-549, out./dez. 2011. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1797>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Sustainability of sugarcane bioenergy**. Brasília: CGEE, updated edition, 2012. Disponível em: <<http://www.cgEE.org.br/atividades/redirect/7724>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

CONFERENCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CNUDS). Major groups da Rio+20 – declaração conjunta. 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/major-groups-da-rio20-declaracao-conjunta>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

CONFERENCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA (COP 15). Panorama. Mecanismo de desenvolvimento limpo. Disponível em: <<http://www.cop15.gov.br/pt-BR/index7ed9.html?page=panorama/mecanismo-de-desenvolvimento-limpo>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP). **Modalidades e procedimentos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme definido no artigo 12 do Protocolo de Quioto**. Decisão 17/CP.7, 31p., jan. 2002. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12919.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (CQNUMC). **Elementos de um protocolo para a convenção quadro das nações unidas sobre mudança do clima propostos pelo Brasil em resposta ao mandato de Berlim**. Berlim, 61p., mar./abr. 1995. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0006/6721.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

DECLARAÇÃO DE JOHANESBURGO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2002. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/joanesburgo.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

DERNER, Roberto Bianchini *et al.* Microalgas, produtos e aplicações. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1959-1967, dez. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000600050&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 de Janeiro de 2014.

DESCRITORES EM CIÊNCIA DA SAÚDE (DeCS). Photobioreactors. Disponível em: <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decsserver/?IsisScript=../cgi-bin/decsserver/decsserver.xis&task=exact_term&previous_page=homepage&interface_1anguage=p&search_language=p&search_exp=Fotobiorreatores>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

DRAGONE, Giuliano *et al.* **Third generation biofuels from microalgae**. 12p., 2010. Disponível em: <<http://www.formatex.info/microbiology2/1355-1366.pdf>>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2014.

EDUCATION QUALITY AND ACCOUNTABILITY OFFICE (EQAO). Crédito de carbono. Disponível em: <<http://www.eqao.com.br/credito-carbono.html>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

EDUCATION QUALITY AND ACCOUNTABILITY OFFICE (EQAO). **Biomassa: uma energia brasileira**. 2009. Disponível em: <<http://www.eqao.com.br/pdf/case-biomassa.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Informativo da Embrapa Agroenergia**. ed. 31, 29p., 2012. Disponível em: <http://www.cnpea.embrapa.br/imprensa/jornal-agroenergetico/agroenergetico_31.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Pesquisa avalia o cultivo de microalgas em vinhaça**. 2013. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2013/outubro/4a-semana/pesquisa-avalia-o-cultivo-de-microalgas-em-vinhaca/>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

FRANCO, André Luiz Custódio *et al.* Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 437-448, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000300015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 de dezembro de 2013.

FRONDIZI, Isaura Maria de Rezende Lopes (org.). O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação 2009. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 131p., 2009. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205947.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

GOMES, Marco Paulo. Protocolo de Kyoto: origem. **Revista Conjuntura Internacional**. Belo Horizonte: ano 2, n. 4, 6p., mar. 2005. Disponível em: <http://www.pucminas.br/imagedb/conjuntura/CBO_ARQ_BOLET20060202113708.pdf>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014..

GUTIERREZ, Maria Bernadete. O Brasil e o mercado de carbono. In: REGO, Iranilde (org.). **Boletim regional, urbano e ambiental**. Brasília: IPEA, n. 3, p. 121-130, dez. 2009. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100406_boletimregio3.pdf>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

HANSEN, James *et al.* Global climate changes as forecast by Goddard Institute for space studies three-dimensional model. **Journal of geophysical research**, v. 93, n. D8, p. 9341-9364, ago. 1988. Disponível em: <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1988/1988_Hansen_etal_1.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Disponível em:

<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/protocolo_de_quioto/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo__mdl_>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. comunicado, n. 77, 33p., fev. 2011a. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110215_comunicadoipea77.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. comunicado, n. 80, 26p., 2011b. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110223_comunicadoipea80.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Four Assessment Report. Valencia, Spain: IPCC, 12-17 nov. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

JOÃO, Iraci de Souza. **Impacto ambiental e gestão de resíduos na agroindústria**

Canaveira: o caso do aproveitamento do bagaço da cana para geração de energia elétrica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE. n. 11, 15p., Fortaleza: nov. 2009. Disponível em:

<http://engema.org.br/upload/pdf/edicoesanteriores/XI/ENGEMA2009_217.pdf>.

Acesso em: 5 fevereiro de 2014.

JULIANI, Antônio José. **Análise dos aspectos sociais, econômicos e ambientais da tecnologia de co-geração de energia**. 15p., 2008. Disponível em:

<http://www.cds.unb.br/obmts/index.php/acervo-esct/doc_download/8-antonio-bioenergia>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

KALILI, Amyra El. O que são Créditos de Carbono? **Revista Eco 21**, ano XII, No 74, jan. 2003. Disponível em: <<http://saf.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/10.pdf>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

LIBONI, Lara bartocci; CEZARINO, Luciana Oranges. Impactos Sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar. **Future Studies Research Journal**, n. 1, v. 4, p. 202-230, jan./jun. 2012. Disponível em: <<http://revistafuture.org/FSRJ/article/view/101>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2014.

MARINHO, Yuri Rugai. Créditos de carbono: incentivo do Direito Internacional Ambiental. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 13, n. 2215, 25 jul. 2009. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/13160/creditos-de-carbono-incentivo-do-direito-internacional-ambiental>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

MARQUES, Sheyla Santa Isabel. **Microalgas como matéria prima para geração de biocombustíveis: uso da vinhaça como alternativa de redução de custos e contribuição**

à sustentabilidade. Salvador, 48p., 2012. Tese (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Bahia, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/11860>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

NASCIMENTO, Iracema Andrade *et al.* Microalgas como matéria-prima para biocombustíveis: importância no cenário atual, principais entraves e resultados promissores na Bahia. **Diálogos e Ciência**, Ano 7, n. 20, 29p., 2009. Disponível em: <http://dialogos.ftc.br/index.php?option=com_content&task=view&id=196&Itemid=4>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2014.

OLIVEIRA, Janaína Garcia de. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar**: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista. São Carlos, 159p., 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-03052007-160128/>>. Acesso em: 2013-12-01

OLIVEIRA, Gabriela Bitto de *et al.* **O efeito estufa**. Presidente Prudente: UNESP, dez. 2009. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/25863173/Artigo-O-EFEITO-ESTUFA>>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

OLIVEIRA, Marcos de. **Vinhaça alternativa**: resíduo da produção de etanol pode ser usado para produzir biodiesel. 2011. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/69380802/para-ler-vinhaca-para-biodiesel>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**. 2010. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

PORTAL BRASIL. **Petrobrás pesquisa uso de algas no etanol**. 2010. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/petrobras-pesquisa-uso-de-algas-no-etanol>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA. O Proinfa. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

SANT ANNA, Rafael Lavrador. **Análise sobre a evolução da bioeletricidade por meio da biomassa da cana-de-açúcar e o comportamento do setor sucroalcooleiro em relação a investimentos no setor de cogeração de energia**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECONOMIA ECOLÓGICA. n. 9, 21p., 2011, Brasília: out. 2011. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/ix_en/GT7-140-118-20110619183659.pdf>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2014.

SANTOS, Jacson Nunes dos. **Potencial de fixação de CO₂ por microalgas como uma possível contribuição ao “desenvolvimento limpo”**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 75p., 2012. Disponível em:

<<http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/DissertJacsonNunes.pdf>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

SANTOS, Juliana da Rocha; ABREU, Nelsio Rodrigues. O impacto do marketing verde para as usinas sucroalcooleiras que atuam em alagoas. **Revista Alcance**, eletrônica, vol. 16, p. 201-220, 2009. Disponível em: <<http://www6.univali.br/seer/index.php/ra/article/view/1350>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

SCARAMUCCI, José A.; CUNHA, Marcelo P. Aspectos socioeconômicos do uso energético da biomassa de cana-de-açúcar. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 699-729, 2011.

SCHMITZ, Roberta; DAL MAGRO, Clinei; COLLA, Luciane Maria. Aplicações ambientais de microalgas. **Ciatec**, Passo Fundo, vol. 4, p. 48-60, 2012. Disponível em: <<http://www.ufp.br/seer/index.php/ciatec/article/view/2393/1767>>.

SENADO FEDERAL. Portal de Notícias. 'Rio+20 será um fracasso', diz especialista em negociações relacionadas ao clima. 2012. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2012/05/30/2018rio-20-sera-um-fracasso2019-diz-especialista-em-negociacoes-relacionadas-ao-clima>>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

STERN, Nicholas *et al.* **Stern Review**: Economics of Climate Change. London: HM Treasury, 662p., nov. 2006. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

TEIXEIRA, Flavio Neves; PRIMO, Kristiane Ramos; LORA, Electo Eduardo Silva. Impacto ambiental do uso energético da biomassa e tecnologias para controle de emissões. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 645-672, 2011.

TEIXEIRA, Marcos Alexandre; ALVES, Luis Manuel; SANTOS, Sérgio Teixeira. Biomassa e o mecanismo de desenvolvimento limpo. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 673-698, 2011.

TEIXEIRA, Valéria Laneuville. **Caracterização do Estado da Arte em Biotecnologia Marinha no Brasil**. Brasília: Ministério da Saúde, 134p., 2010. Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/caracterizacao_estado_arte_biotecnologia_marinha.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, 24p., 10 dez. 1997. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/cop3/107a01.pdf>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT (UNCSD). Major Groups. About the rio+20 conference. Disponível em: <<http://www.uncsd2012.org/majorgroups.html>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Adaptation Fund. Disponível em: <http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/adaptation_fund/items/3659.php>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). CDM project circle. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/diagram.html>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005.** FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1, 100p., mar. 2006. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a01.pdf#page=6>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). What is the CDM?. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/about/index.html>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

VECCHIA, Rodnei. **O meio ambiente e as energias renováveis:** instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável. Barueri, SP: Manole: Minha editora, ed. 1, 334p., 2010.

VIOLA, Eduardo. BECE: uma proposta consistente para construir uma sociedade sustentável. **Revista Ligação/SABESP.** Mai./jun.2000. Disponível em: <http://www.anbio.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=499:b-eece-uma-proposta-consistente-para-construir-uma-sociedade-sustentavel&catid=66:biodiversidade&Itemid=61>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

VIOLA, Eduardo. O Brasil e o protocolo de Kyoto. **Revista Eco 21**, ano XII, ed. 66, maio 2002a. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=310>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

VIOLA, Eduardo. O regime internacional de mudança climática e o Brasil. **Rev. bras. Ci. Soc.**, São Paulo, v. 17, n. 50, p. 25-46, out. 2002b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69092002000300003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2014.

VIOLA, Eduardo. Perspectivas internacionais para a transição para uma economia verde de baixo carbono. In: GRAMKOW, Camila L.; PRADO, Paulo Gustavo (org.). **Economia verde:** desafios e oportunidades. Belo Horizonte: Conservação Internacional, n. 8, p. 43-57, jun. 2011. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/politica_ambiental_08_portugues.pdf>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

VIOLA, Eduardo; FRANCHINI, Matías. Os limiares planetários, a Rio+20 e o papel do Brasil. **Cad. EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, Sept. 2012a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512012000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 de fevereiro de 2014.

VIOLA, Eduardo; FRANCHINI, Matías. O Brasil na transição para uma economia verde de baixo carbono. In: CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS. **O Brasil e a agenda de sustentabilidade: desafios e oportunidades para o Estado, o setor privado e a sociedade civil**. Rio de Janeiro: Cebri, p. 31-53, nov. 2012b. Disponível em: <<http://www.cebri.org/midia/documentos/estkas2012.pdf>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

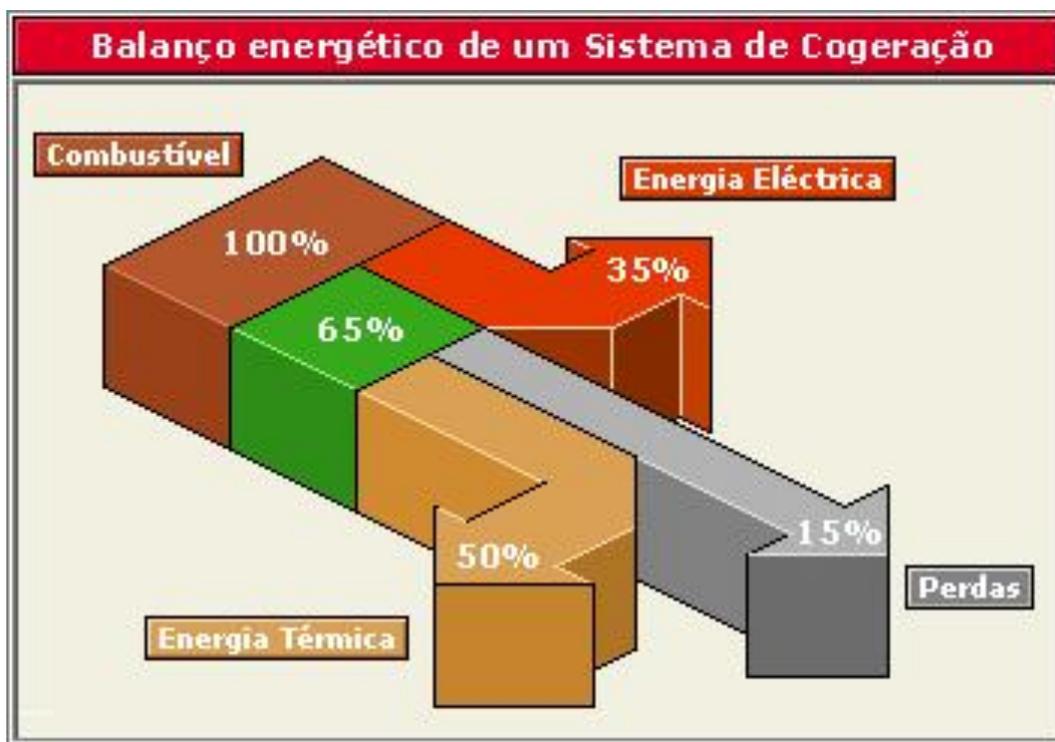
VIOLA, Eduardo; FRANCHINI, Matías; RIBEIRO, Thais Lemos. **Sistema internacional de hegemonia conservadora: governança global e democracia na era da crise climática**. São Paulo: Annablume, 410p., 2012c.

WALTER, Arnaldo; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Sistemas de produção de eletricidade a partir da biomassa. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 573-607, 2011.

YUJI, Mizuno. **MDL ilustrado**. Tradução: Anexandra de Ávila Ribeiro. Japão: Ministério do Ambiente, ver. 8.0, 95p., Jun. 2009. Título original: CDM in Charts. Disponível em: <<http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=2386>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2014.

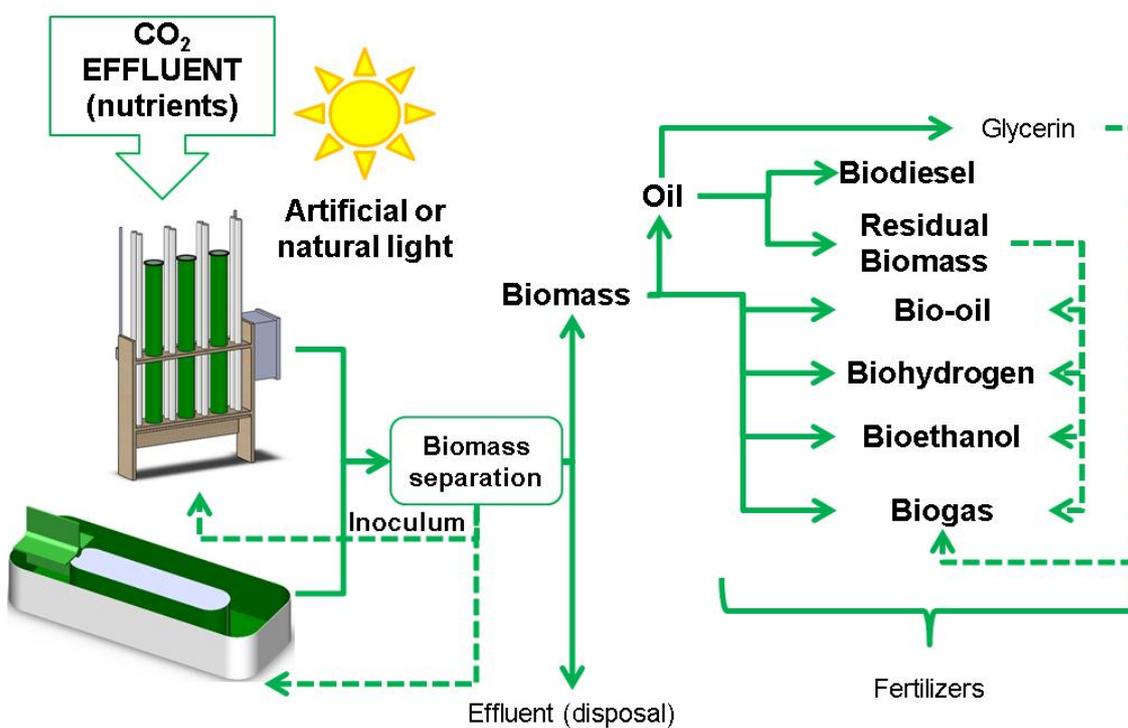
ANEXOS

ANEXO A - Produção cogerada de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar



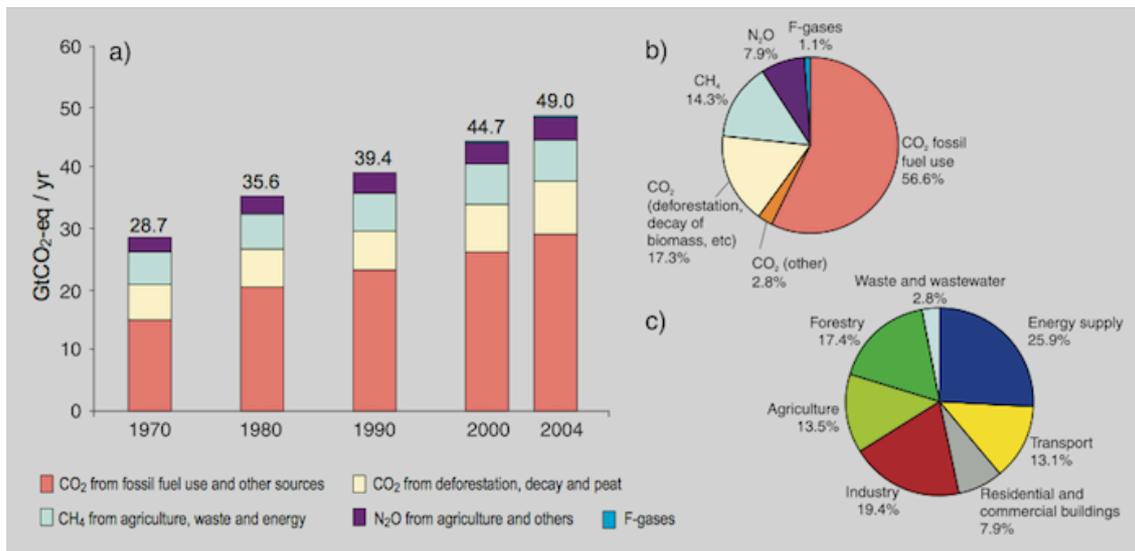
Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgJsIAF/cogerao-energia-eletica-a-partir-bagaco-cana-acucar?part=3>

ANEXO B - Produção de energia a partir de microalgas



Fonte: <http://www.intechopen.com/source/html/41578/media/image3.jpeg>

ANEXO C - Emissão de GEE por setor



Fonte: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf