

ETANOL E MUDANÇA DO CLIMA: A CONTRIBUIÇÃO PARA O PNMC E AS METAS PARA O PÓS-KYOTO

Luis Gylvan Meira Filho¹
Isaias C. Macedo²

Resumo

O uso de fontes de energia renovável e com baixo teor de carbono é uma das estratégias para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE). O etanol da cana de açúcar já apresenta balanço energético e de emissões muito favorável (e poderá melhorar ainda mais), está disponível comercialmente (em volume crescente e a preços competitivos) e pode expandir rapidamente com novas aplicações e em muitos países.

Em 2006 a redução de emissões de GEE com o etanol, substituindo gasolina (e energia elétrica associada) alcançou 22 % das emissões finais dos setores de Transporte e Geração de Eletricidade no Brasil, e chegaria a 43 % em 2020, considerando os objetivos do PNMC. O setor de etanol evitou o equivalente a 10 % das emissões totais do Brasil (relacionadas com energia: geração elétrica, indústria, transportes e outros) em 2006 e atingiria 18 % em 2020 (excluída a parcela de emissões devida ao desmatamento). O potencial para novos usos (substituição de outros combustíveis fósseis; aumento das exportações) pode aumentar consideravelmente esta participação.

No contexto global, a produção e uso de etanol no Brasil contribuiu para a redução de 0,1 % das emissões globais associadas à energia em 2006, chegando a 0,25 % em 2020, sempre com relação ao total de gasolina (e eletricidade) substituídas.

Tomando como referência o ano de 1990 (já com o uso de 11,8 M m³ etanol) e as demandas de combustível previstas pela EPE até 2030, as diferenças nas concentrações atmosféricas de CO₂ e nas temperaturas da superfície global (com e sem o aumento no uso de etanol) foram avaliadas.

As reduções de emissões a serem buscadas globalmente para as próximas décadas permitem avaliar o “valor” da mitigação proporcionada pelo etanol (determinado pelo custo adicional do conjunto de tecnologias consideradas, no mundo, para um nível desejado de mitigação); este valor adicional do etanol brasileiro é estimado em US\$ 0,20 / L etanol.

A relação entre as mudanças climáticas e o aumento de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera é vista à luz dos mais recentes resultados obtidos pelo IPCC. A história da evolução dos conceitos sobre as mudanças climáticas e das conseqüentes negociações internacionais visando avaliar conseqüências e propor medidas para seu controle (e adaptação) é revista.

O papel importante dos bicombustíveis é identificado neste contexto de mitigação de emissões; em particular o do etanol produzido no Brasil. Uma análise das tendências e expectativas para o regime pós – Quioto, com as diversas opções em consideração para as negociações internacionais, conclui que persiste o debate sobre metas globais; sua repartição entre países ou grupos de países; e a adoção de políticas internas pelos países. Além disto, os

¹ Pesquisador do Instituto de Estudos Avançados, da USP.

² Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, da Unicamp.

mecanismos para manejo das emissões entre os países (como o MDL) são muito limitados, notadamente para as energias renováveis como o etanol.

Para o Brasil, é necessário que metas internacionais sejam adotadas de maneira uniforme, incluindo China e Índia, para proteger a competitividade de nossa indústria; e que uma vantagem específica, a matriz energética relativamente limpa, seja considerada no comércio internacional.

1. Introdução

A relação entre as mudanças climáticas e o aumento de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera foi detectada de forma inequívoca (IPCC 2007). As tendências atuais das negociações internacionais para prevenção dos problemas decorrentes tentam limitar o aumento de temperatura em 2100 (talvez a 2 C) com a redução de emissões, distribuída entre países industrializados e emergentes. As negociações internacionais para o estabelecimento destas regras estão em curso.

Considerando o porte do programa brasileiro de uso de etanol, é importante verificar, no contexto nacional e internacional, a sua contribuição neste esforço global, durante a próxima década. O conhecimento desta contribuição (e do seu valor, no contexto de outras tecnologias e políticas de mitigação de emissões) é parte necessária do conjunto de fatores a considerar na elaboração da política brasileira para estas negociações.

2. Mitigação de emissões de gases de efeito estufa com a produção e uso do etanol de cana

Avaliações da redução de emissões de GEE com o uso do etanol da cana de açúcar têm sido feitas desde 1992 (Macedo 1992); gradualmente foram introduzidas melhorias nas bases de dados, e mudanças devidas a variações nas tecnologias de produção e uso (Macedo 2007). Mais recentemente têm sido desenvolvidos trabalhos de “harmonização” entre metodologias usadas para várias matérias primas e produtos (cana de açúcar, milho, cereais, madeira; etanol, biodiesel, etc.). Estas avaliações normalmente são feitas para o ciclo de produção e uso do combustível, e inicialmente não incluíam efeitos da mudança no uso do solo.

Com a aprovação da Diretiva Européia em Dezembro, 2008, foi introduzida de forma “oficial” uma quantificação do efeito direto da mudança do uso da terra (LUC) na produção de biocombustíveis, considerando a variação dos estoques de carbono (sobre e sob o solo), com uma proposta de cálculo relativamente simples, ainda fortemente apoiada em parâmetros “default” do IPCC (na ausência de dados suficientes e confiáveis para teores de carbono no solo, em muitas regiões). Em 2009 foram apresentadas para discussão propostas incluindo efeitos de LUC (direto e indireto) nos Estados Unidos, pela EPA e pela CARB.

Os chamados “efeitos indiretos” da LUC estão em discussão há cerca de dois anos; ocorrem em certos casos, mas o ferramental disponível para avaliação (os modelos e os relações causa-efeito para inúmeras situações e locais) são claramente deficientes para o fim objetivado. A Diretiva Européia adiou decisões sobre o uso de avaliações dos efeitos indiretos pelo menos para o final de 2010, e nos EUA o assunto está sendo discutido.

2.1 Emissões evitadas com o uso do etanol de cana: estimativas para o período 2009 – 2020

As estimativas abaixo consideram a redução de emissões de GEE com o uso de etanol de cana substituindo gasolina, seguindo o seguinte roteiro:

- Cenário 2009 – 2020 para a demanda de etanol carburante no Brasil, e para exportação;
- Cenário tecnológico no período (apenas introdução de tecnologias comerciais para energia elétrica, e avanços contínuos nas tecnologias em uso);
- Emissões específicas para estes cenários; composição para o período total.

Demanda de etanol 2009 - 2020

A demanda de etanol carburante no Brasil tem crescido muito rapidamente; algumas previsões feitas em 2007 já se mostram inadequadas em 2009. A Tabela 1 mostra resultados de alguns cenários. A incerteza no momento é muito grande com relação a exportações.

Tabela 1. Demanda de etanol; Cenários, Mercado interno e exportação, M m³/ ano

Ano	2010		2015		2018		2020	
	M Int	Export	M Int	Export	M Int	Export	M Int	Export
UNICA (UNICA 2008)	23	6	35	12			50	15
MAPA (MAPA 2007)	20		28		30			
EPE (EPE 2007)	20	4	26	10			34	14
IE – UFRJ, Cen. B (IE-UFRJ 2006)							35	
CEPEA (CEPEA 2007)		4,4		9,8				18

A estimativa da CONAB (Abril 2009) para a safra 2009 – 2010 chega a 622 – 634 M t cana, com 55,3% para etanol (ou 27.8 – 28.6 M m³, incluindo exportação) sendo 18,5 – 18,8 M m³ hidratado, confirmando o cenário proposto pelos produtores. A produção de 2008 – 2009 atingiu 26.6 M m³.

Cenários para exportação contem uma grande incerteza, dependendo de decisões que serão tomadas nos próximos anos; as regiões desenvolvidas têm tradicionalmente protegido seus mercados, com altas tarifas de importação. Foi incluído um cenário para exportações, somente para avaliar a mitigação esperada; é um cenário “moderado” (CEPEA 2007).

Considerando os diversos cenários e hipóteses, assim como as análises de demanda (mistura com gasolina, FFV e E-100) foi adotado um cenário para 2020 (apenas para estimar as emissões evitadas com o etanol) descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Demanda interna e exportação de etanol, M m³/ano

Ano	2010	2015	2020
Demanda Interna			
Anidro	6	6	5
Hidratado	17	29	45
Subtotal, interno	23	35	50
Exportação, anidro	5	10	15
Total	28	35	65

Cenário tecnológico no período

A evolução tecnológica no período e seu efeito nas emissões de GEE é considerada a partir da situação atual da média das usinas (parâmetros de 2006), definida com os dados disponíveis para a região Centro Sul (Macedo 2007). Para este estudo são consideradas somente tecnologias comercialmente disponíveis neste horizonte (2020), e tendências claramente identificáveis; a mais importante é o uso de palha da cana (até 40%) e bagaço excedente (até 35%) para produzir energia elétrica excedente, em sistemas convencionais (ciclos a vapor) de co-geração / geração em alta pressão (Seabra, 2008). Avanços esperados nas produtividades agrícolas e industriais, e em eficiências de conversão, são incluídos; na área agrícola, a alocação otimizada de novas variedades, os usos mais imediatos de modificações genéticas na planta, e técnicas de agricultura de precisão são esperados. Este estágio tecnológico será denominado “Tecnologia E” (de “eletricidade”). As taxas de penetração da tecnologia são estimadas e introduzidas no estudo, diferenciando usinas novas de usinas existentes.

Não se considerou tecnologias em desenvolvimento com penetração significativa apenas após 2018; neste caso seria incluída a hidrólise da celulose. Estimativas neste sentido podem ser vistas em (Macedo, 2008), mas não são essenciais para este estudo.

Todos os dados básicos (agrícolas e industriais), assim como para o transporte e distribuição do etanol e seu uso final podem ser vistos em (Macedo e Seabra, 2008), para o ano base (2006) e para a Tecnologia E em 2020. Alguns parâmetros principais (não são médias para o conjunto de usinas, para a Tecnologia E) são:

Tabela 3. Parâmetros de produção no período 2006 – 2020

	t cana / ha	L etanol/ t cana	kWh/ t cana, excedente	Area de cana, M ha
2006, média	87	86,3	9,2	2,4
2020, Tecnologia E	95	93,2	135	7,3

As taxas de penetração da Tecnologia E foram estimadas considerando que ela já está parcialmente em uso comercial, em implantação em quase todas as unidades novas (geração com vapor, alta pressão); mas o uso de 40% da palha exigirá ainda alguns anos (crescimento gradual). Hipóteses:

- 2006 até 2010: condições de 2006 (sem sistemas novos completos); conservador
- 2011 a 2020: 80% da produção incremental usará Tecnologia E (eletricidade)
3% da produção existente em 2010 mudando, a cada ano, para a Tecnologia E

Desta forma teremos 35% da produção já com Tecnologia E em 2015, e 53% em 2020. Os resultados seriam ao longo do tempo:

Tabela 4. Produção de etanol, eletricidade e cana correspondente

	2006	2010	2015	2020
Etanol, Merc Int Mm ³	14,2	23	35	50
Etanol, Export Mm ³	3,7	5	10	15
Área de Cana, M ha	2,4	3,6	4,2	7,3
Cana, M t	207	318	385	697
Eletricidade, TWh/ano	1,9	2,9	20,3	52

Redução de emissões de GEE no período

a. Ciclo de produção (sem efeitos na mudança de uso da terra)

A avaliação das emissões de GEE segue os padrões hoje adotados para biocombustíveis, incluindo o CO₂, metano e N₂O; e considerando todos os fluxos de GEE importantes na produção agrícola, na conversão industrial, no transporte e distribuição do etanol, e no uso final. Ainda há divergências (se bem que muito menores hoje) em alguns pontos, notadamente sobre as diferentes opções de cômputo das emissões e mitigação com subprodutos e co-produtos, e alguns parâmetros de processo. Buscamos sempre a melhor informação disponível, e transparência no relato dos resultados.

A avaliação detalhada (todos os parâmetros, coeficientes, valores “default” usados, base de dados e sua variação, metodologias) das emissões para o caso atual e o caso da Tecnologia E podem ser vistos nas referências (Macedo e Seabra 2008, Macedo 2007). Notamos a inclusão da eficiência média dos motores, que no Brasil pode ser avaliada com base em anos de experiência. Resumidamente, para misturas até 10% de etanol teremos 1 L etanol = 1 L gasolina A, levando a 80% de equivalência para E-25; motores E-100 apresentam equivalência de 79% (1 L etanol = 0.79 L gasolina C), CETESB 2008; e os FFV, em 2005, tinham 1 L etanol = 0.72 L E-25, levando a 66% de equivalência com gasolina A (Joseph Jr, 2005; CETESB, 2008). Os resultados mais interessantes são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Emissões específicas evitadas (comparação com gasolina) com o uso do etanol, para as condições de 2006 (médias) e para a Tecnologia E, 2020; excluídos os efeitos de mudança de uso da terra. (t CO₂e/m³ etanol)

Ano	2006 (média)		Tecnologia E (2020) (1)		
	E-100	E-25	E-100	FFV	E-25
Uso final do etanol					
Emissões na produção	0,44	0,46	0,34	0,34	0,36
Emissões evitadas	2,15	2,82	2,36	2,28	3,02
Excedente de bagaço (2)	0,14	0,15	0,00	0,00	0,00
Excedente de eletricidade (3)	0,03	0,03	0,38	0,38	0,40
Uso do etanol (4), (5)	1,98	2,64	1,98	1,90	2,64
Emissões evitadas (liquido)	1,71	2,36	2,02	1,94	2,66

(1) Tecnologia E: melhorias de processos + Produção de eletricidade (alta pressão, bagaço + 40% palha)

(2) Substituição de caldeiras a óleo (eficiência= 92%; PCI) por caldeiras a bagaço (eficiência = 79%; PCI)

(3) Neste estudo foi usado o fator de emissão baseado na média dos fatores da margem construída e margem operacional, para o Brasil: ~268 t CO₂e/GWh. Fatores de emissão de 579 e 560 t CO₂e/GWh(e) para 2006 e 2020, respectivamente (baseados em estimativas do IEA, emissões mundiais médias, eletricidade), assim como as emissões de centrais a GN, poderiam também ser considerados.

(4) Equivalências: E-25: 1 L etanol = 0.8 L gasolina A; E-100: 1 L etanol = 0.74 L gasolina A; FFV: 1 L etanol = 0.72 L E-25 = 0.66 L gasolina A.

(5) Gasolina, emissões de GEE: 2.64 kg CO₂e/m³ gasolina

b. Efeito da mudança no uso da terra

Os efeitos diretos da mudança no uso da terra, no caso da expansão da cana de açúcar no Brasil, têm sido avaliados nos últimos anos. Pode ser mostrado que:

-A mudança de uso da terra para produção de cana para etanol no Brasil (nos últimos 25 anos) deve ser considerada apenas para o período 2002 - 2009, porque a produção de etanol ficou constante (cerca de 12 M m³/ano) de 1984 até 2002 (Macedo e Seabra, 2008);

-Neste período, os levantamentos de diversas fontes independentes mostram que ocupação de áreas com vegetação arbórea (cerrados, florestas) foi menor que 2% do total, sendo a mudança feita essencialmente sobre áreas de pastagens e culturas anuais (Nassar 2008)

-As informações sobre teores de carbono no solo para as culturas substituídas e para a cana, trazem valores que não diferem muito dos valores default do IPCC e que indicam que cana sem queima pode aumentar os teores de equilíbrio de carbono no solo, para a maioria das culturas anuais e pastagens (Amaral 2008)

Uma análise para a situação média da mudança de uso para cana de açúcar sem queima, hoje, é resumida na Tabela 6 (Macedo e Seabra, 2008), indicando aumento no teor de carbono no solo. Se as condições de mudança forem mantidas (isto é o que se espera, contando com a intensificação da pecuária em curso) o efeito direto da mudança de uso do solo será positivo.

Tabela 6. Mudanças nos estoques de Carbono por LUC

Cultura	Mudança no estoque de carbono (1) (t C/ha)	Emissões (kg CO ₂ eq/m ³)	
		2006	2020 eletricidade
Pastagens degradadas	10	-302	-259
Pastagens naturais	-5	157	134
Pastagens cultivadas	-1	29	25
Soja	-2	61	52
Milho	11	-317	-272
Algodão	13	-384	-329
Cerrado	-21	601	515
Campo Limpo	-29	859	737
Cerradão	-36	1040	891
Emissões LUC (2)		-118	-109

(1) Baseado em valores medidos para estoques de carbono abaixo e sobre (somente perenes) o solo.

(2) Distribuição de LUC:

2006: 50% pastagens (70% degradadas, 30% naturais);
50% culturas anuais (65% soja, 35% outras);

2020: 60% pastagens (70% degradadas, 30% naturais);
40% culturas anuais (65% soja, 35% outras);

Cerrados abaixo de 1%.

Diversos estudos em andamento visam melhorar o conhecimento atual sobre os estoques de carbono no solo no Brasil, para estas culturas de interesse na expansão da cana; para a finalidade deste estudo, de forma conservadora não incluiremos ainda no balanço os resultados (positivos) obtidos até agora, como mostrado acima.

c. Resultados: emissões evitadas

A Tabela 7 traz as emissões evitadas totais, para anos selecionados, entre 2006 e 2020. São consideradas duas referências quanto às emissões evitadas pela substituição de energia elétrica: uma média entre as margens de operação e construída no Brasil (260 t CO_{2e} / GWh) e o valor associado a centrais a Gás Natural (570 t CO₂ e/ GWh).

Tabela 7. Emissões evitadas (M t CO_{2e} / ano) com o uso de etanol (Brasil e exportação)

	2006	2010	2015	2020
Mitigação (1)	36	55	91	133
Mitigação (2)	37	56	97	149

(1) Eletricidade: média entre as margens de operação e construtiva no Brasil (260 t CO_{2eq} / GWh)

(2) Eletricidade: centrais a Gás Natural (570 t CO₂ e/ GWh)

Portanto, de 2010 a 2020 (11 anos) a emissão evitada total estaria em cerca de 1015 M t CO_{2e}, com média de 92 M t CO_{2e}/ano; ou cerca de 7% a mais se as emissões da eletricidade substituída forem computadas com base na geração com gás natural (12% a mais no último ano).

2.2 Emissões evitadas pelo uso etanol no contexto brasileiro

Os valores de emissões evitadas incluem o efeito do etanol e da energia elétrica. Para comparação, usamos as emissões de GEE dos setores de Transportes e Geração de Energia Elétrica no Brasil, estimadas (EPE 2007) para 2005 e 2020. Aqui, como em todo o estudo, a geração de energia elétrica computada corresponde somente à parcela da cana usada para a produção de etanol; o setor gera quase 100% a mais (hoje) com o açúcar.

Tabela 8. Emissões setoriais (Transportes e Geração de Energia Elétrica) e Mitigação com o uso do Etanol; Mt CO_{2e} / ano

	Emissões, Transportes (1)	Emissões, E. Elétrica (1)	Transportes + E. Elétrica	Evitadas, etanol + e. elétrica (2)
2006	140	20	160	36
2020	250	60	310	133

(1) As emissões já incluem uma certa quantidade de etanol no mix (de acordo com estimativas da EPE); portanto, são os valores finais de emissões, de acordo com (EPE 2007)

(2) Incluídas as emissões evitadas com o etanol exportado.

Em 2006 a mitigação com o etanol (e energia associada) alcançou 22% das emissões finais dos dois setores, e chegaria a 43% em 2020.

As emissões totais do Brasil (relacionadas com energia, produção e uso, em todos os setores) em 2006 foram de 350 Mt CO_{2e} / ano, e a previsão para 2020 é de 720 Mt CO_{2e} / ano (EPE 2007), (excluídas as parcelas devidas ao desmatamento, e emissões não da energia). O setor de etanol evitou o equivalente a 10% destas emissões em 2006, e 18% em 2020.

3. O contexto global

Como o aquecimento pelo aumento das emissões de GEE é um problema global, é adequado situar as emissões mitigadas pelo etanol neste contexto. As emissões antropogênicas dos principais GEE em 2005 foram (WEO 2008; dados da EPA para a IEA; IEA databases; IPCC

2007; WEO 2008), 36 Gt de CO₂ (destas, 75% de energia e 11% de mudança do uso da terra), 6 Gt CO_{2e} do Metano, 2,5 Gt CO_{2eq} do N₂O e cerca de 0,8 Gt CO_{2e} de organofluorados.

O cenário de referencia (WEA 2008), mantendo as políticas vigentes em Outubro 2008 (valores médios entre vários cenários do IPCC), indica crescimento das emissões de GEE destes 44,2 Gt CO_{2e} (2005) para 54 em 2020 e 59,6 Gt CO_{2e} (2030); emissões associadas a energia correspondem respectivamente a 61%, 67% e 68% dos totais. O setor de etanol no Brasil contribuiu para a redução de 0,1% destas emissões em 2006, e chegaria a 0,25% em 2020.

As relações entre emissões de GEE e mudanças no clima são complexas; fatores como remoção de Carbono (atmosfera, solos, oceanos) albedo, nuvens, e aerossóis podem neutralizar parcialmente os efeitos estufa (IPCC 2007-a). Nas condições atuais, a variação de 1 ppm CO₂ na concentração atmosférica corresponde a 7,7 Gt CO_{2e}; mas considerando os processos de remoção (oceanos, atmosfera, solos) a emissão correspondente seria de 13,3 Gt CO_{2e}.

A temperatura global média é hoje estimada ser 0,76 C maior que o nível pré-industrial; a taxa de crescimento tem aumentado, sendo 0,19 C nos últimos 20 anos.

Dois cenários considerados (WEO 2008-a) visam concentrações de GEE estabilizando a 550 ppm de CO_{2eq} (com aumento de temperatura global de 3 C; e emissões atingindo 33 Gt CO_{2e} em 2030); ou 450 ppm (com aumento de temperatura de 2 C; e emissões de 25 Gt CO_{2e} em 2030). Os efeitos potenciais destes níveis de aumento de temperatura são danosos, e são bem modelados hoje (IPCC 2007-a).

Vários modelos (IMAGE, IPAC, AIM, MESSAGE) (Fischedick 2008) mostram que no período 2000-2030 as tecnologias mais relevantes para mitigação seriam Conservação de energia e eficiência, seguida por Renováveis, para cenários de estabilização a 450 -590 ppm CO₂; para o horizonte de 2100 as mesmas tecnologias continuam importantes, com a adição de Captura e Estocagem de Carbono.

Um ponto a ser notado é que para obter as reduções de emissões adequadas, *todas as opções de tecnologias em consideração serão necessárias*; em particular, no caso de transportes (caso do etanol) as emissões no mundo cresceriam (cenário de referencia) de 6,7 para 11,6 Gt CO_{2e} entre 2002 e 2030. As opções atuais de aumento de eficiência e uso de biocombustíveis poderiam reduzir de 2,2 a 4,5 Gt CO_{2e} (IPCC 2007-c) mas esta mitigação potencial seria parcialmente anulada pelo aumento do uso de combustíveis líquidos não convencionais, com maior emissão de CO₂. Portanto, as emissões em Transportes continuarão aumentando até 2030, mesmo com o uso de todas as opções de mitigação em análise, dentro de suas possibilidades práticas.

Custo da mitigação de emissões no mundo e valor adicional do etanol

No cenário atual, as mudanças climáticas trarão custos importantes para os países na implementação da adaptação; o que se busca fazer é reduzir o efeito através da redução das emissões, levando a menores danos (e custos de adaptação). As incertezas quanto aos custos da adaptação são visíveis; valores estimados em 2007 (IPCC; custos de adaptação entre US\$

40 e 170 bilhões anuais, depois de 2030) foram recentemente revistas para acima de US\$ 500 bilhões.

No momento, é possível estimar os custos das diversas técnicas e políticas de redução de emissões, chegando a um custo médio da emissão evitada da t Carbono, para atingir certas metas. Para o etanol de cana, este custo médio é um indicador do seu *valor adicional* (uma externalidade, não comercial).

Em sistemas baseados em “cap and trade”, que são vistos como mais prováveis, o custo da estabilização das emissões depende do alvo (concentração de CO₂), da linha de base e do conjunto de tecnologias disponíveis (Fischedick 2008). As opções tecnológicas seriam usadas, idealmente, a partir das de custo mais baixo; um resumo seria (IPCC 2007-a): “os estudos indicam a necessidade de um portfólio diversificado; preços de Carbono de 20 – 50 US\$/t CO_{2e} seriam suficientes para promover mudanças de combustível em larga escala e permitir que CCS e fontes de energia elétrica com baixo Carbono se tornem econômicas durante com sua maturação”. Vários estudos têm visto aspectos parciais da estimativa de custos; em geral há consenso sobre o fato de que os custos estimados são ainda muito imprecisos; não há conhecimento adequado de alguns custos específicos (exemplo, CCS) para escalas diversas, ou ao longo do tempo; é difícil analisar sistemas interdependentes; e há grande variação com o local. Alguns resultados recentes são:

- (IPCC 2007–b) considerando todas as tecnologias disponíveis *para eletricidade* (incluindo CCS com carvão e gás natural) conclui que a redução de emissões poderia atingir, sobre a base de 15.77 Gt CO_{2e} em 2030: 4 Gt CO_{2e} com custos até US\$ 20/t CO_{2e}; 6,4 Gt CO_{2e} com custos até US\$ 50/t CO_{2e}; e 7.2 Gt CO_{2e} com custos até US\$ 100/t CO_{2e}.

- (IPCC 2007-a) indica que estabilização a 550 ppm CO₂ corresponderia a custos de 20 – 50 US\$/t CO_{2e}, entre 2020-2030; mas 100 US\$/t CO_{2e} seriam necessários para 450 ppm CO₂.

- (McKinsey 2009) estima que é possível reduzir emissões em 55% em 2030 (levando a 550 ppm) com custo abaixo de EU 60/ t CO_{2e}; e em 70% (para 450ppm) com custo de EU 60 a 100 /t CO_{2e}.

- (IEA 2008): para o horizonte de 2050, usa dois cenários: manter as emissões em 2050 no mesmo nível de 2005 (com custos marginais de mitigação de CO₂ até US\$ 50/t CO_{2e}) ou reduzir as emissões de 2005 para a metade em 2050 (algumas tecnologias, cenário otimista, iriam para US\$ 200/t CO_{2e}; mas as médias ficariam de 38 a 117 US\$ /t CO_{2e}).

- (WEO 2008) e WEO-2008-a): no cenário de estabilização a 550 ppm CO₂, “cap and trade” traria o custo de CO₂ para US\$ 90/t CO_{2e} em 2030 (OECD+), e US\$ 40/t CO_{2e} em 2020. Para estabilização a 450 ppm, o custo atingiria até US\$ 180/t CO_{2e} em 2030.

Destas indicações admitimos um custo de referencia para a mitigação, considerando a necessidade de reduzir a concentração de CO₂ para 450 ppm na atmosfera, de US\$ 100/t CO_{2e} para os próximos vinte anos. Este custo é determinado pelo total de emissões a reduzir, e pelos custos e potenciais (variando com o local e época) das diversas tecnologias em consideração.

Considerando o uso de etanol em substituição à gasolina e seu excedente de energia elétrica, este custo evitado da mitigação (US\$ 100/t CO_{2e}) e o valor médio de mitigação (~2 t CO_{2e}/m³ etanol, ver Tabela 5) levam a um *valor adicional* para o etanol de US\$ 0.20/L

etanol. Este valor adicional (isto é, em adição ao valor equivalente à gasolina substituída) é uma das *externalidades* do uso etanol, que apesar de não remunerada deve ser considerada na elaboração de políticas adequadas de suporte à sua produção e uso.

Possibilidades de expansão do uso do etanol para outros setores no Brasil

O etanol pode ser utilizado em outros setores no Brasil, aumentando seu potencial de mitigação de emissões. Embora isto não seja incluído nesta avaliação, lembramos aqui algumas das possibilidades:

- O uso do GN precisa ser reconsiderado para áreas mais nobres (industriais, termoelétricos) que o GNV. Em 2008 o GNV utilizado correspondeu a cerca de 4,5 M m³ etanol (aproximadamente 30% do etanol carburante usado no país).
- O consumo de diesel para térmicas em sistemas isolados foi equivalente a 1,4 M m³ etanol
- O consumo de diesel apenas no setor agrícola da cana de Açúcar foi equivalente a cerca de 2,2 M m³ etanol.
- O uso de apenas 5% (energia) de etanol substituindo diesel teria levado a cerca de 4 M m³ etanol; isto poderia ocorrer prioritariamente em setores como o transporte de massa urbano, por exemplo.

Evolução do conhecimento sobre as mudanças climáticas; tendências e expectativas para o regime pós – Quioto; o etanol no Brasil

A mudança global do clima, resultante do aumento da concentração na atmosfera do dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa pelas atividades do homem, é “um dos maiores desafios de nossos tempos”, nas palavras dos líderes dos países representados no Fórum das Principais Economias, reunidos em Áquila, Itália, em 9 de julho de 2009.

Mudanças climáticas e gases de efeito estufa

O aquecimento global decorre das atividades humanas que fazem aumentar a concentração na atmosfera dos gases de efeito estufa: dióxido de carbono (queima de combustíveis fósseis, fabricação de cimento, e desflorestamento); metano (decomposição anaeróbica de matéria orgânica); óxido nitroso (fertilizantes nitrogenados e indústria química); e certos gases industriais à base de halogênios. Essa concentração mais elevada produz um aquecimento gradual da superfície mudando a dinâmica dos oceanos e da atmosfera. Estima-se que tais mudanças causarão prejuízos de vários tipos; os ecossistemas estão adaptados ao clima atual, assim como as atividades humanas, e a mudança de clima prevista é muito mais rápida do que a capacidade de adaptação da natureza ou da humanidade.

Em 1988 foi criado no âmbito das Nações Unidas, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, para avaliar o estado do conhecimento humano sobre a mudança do clima, incluindo os aspectos científicos, a estimativa de seus impactos, e as possíveis estratégias de resposta. Após o relatório, em 1990, o rápido avanço do conhecimento sobre o tema tornou necessária a reavaliação contínua, com novos relatórios publicados em 1995,

2001, 2007 e um previsto para 2013. O primeiro relatório (1990) registrou o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, e a previsão de que, a temperatura média global da superfície aumentaria cerca de 3 graus Celsius em 2100; e que seria necessária mais de uma década até que a mudança do clima pudesse ser detectada. O último relatório do IPCC, de 2007 registrou a constatação de que a mudança do clima produzida pelo homem já foi detectada de forma inequívoca. Como a mudança do clima inclui efeitos naturais de erupções vulcânicas, variabilidade solar, aerossóis, eventos de El Niño, e outros – para separar a contribuição do aumento do efeito estufa são usados modelos numéricos do clima com todos os seus componentes (atmosfera, oceanos e biosfera), em um período para o qual se disponha de observações. Os modelos atuais e o aumento da intensidade da mudança do clima permitiram que simulações do clima para o século passado, em comparação com observações, permitissem separar o efeito das causas naturais do efeito do aumento dos gases de efeito estufa pela ação do homem.

A cadeia causa-efeito no sistema climático tem início nas decisões e ações humanas, que provocam a emissão de gases de efeito estufa; o aumento da concentração daqueles gases na atmosfera produz um aquecimento (forçante radiativa), um aumento da temperatura, impactos regionais e locais de mudança do clima e os prejuízos associados. A relação entre emissões e aumento da concentração é ditada pelo tempo médio de vida na atmosfera de cada gás; a relação entre o aumento da concentração e a forçante radiativa é função das propriedades de cada gás. A relação entre a forçante radiativa e o aumento de temperatura é ditada pela sensibilidade climática (o aumento da temperatura média da superfície para cada vez que a concentração de dióxido de carbono é dobrada) e pela escala de tempo da transferência vertical de calor nos oceanos. A relação entre o aumento de temperatura e os impactos regionais e locais da mudança do clima, e, portanto os prejuízos, são complexos, mas pode-se afirmar que é uma função monotônica crescente do aumento de temperatura.

Portanto, sabe-se que a estabilização da temperatura exige a estabilização da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, o que por sua vez exige a estabilização das emissões líquidas antrópicas (produzidas pelo homem). O conceito de emissões líquidas considera as remoções de dióxido de carbono da atmosfera, que são como emissões negativas. O único gás de efeito estufa que se presta à remoção antrópica é o dióxido de carbono, que pode ser removido da atmosfera seja pelo plantio de árvores, seja pela captura e armazenamento geológico (em poços de petróleo e gás ou em aquíferos salinos), seja pela fertilização artificial dos oceanos com sais de ferro, estas duas últimas tecnologias ainda em desenvolvimento. Dado um perfil temporal de emissões futuras, este corresponde a um único perfil de aumento de concentração e a um único perfil de aumento de temperatura. O inverso não é verdadeiro, ou seja, há mais de um perfil de emissões possível para atingir um mesmo aumento de temperatura. Neste caso, tende-se a buscar o perfil de emissões que corresponde ao menor custo possível para o mesmo resultado.

Reações às mudanças climáticas

A evolução do conhecimento sobre mudança do clima desde 1990 até hoje foi lenta e gradual; em paralelo ocorreu um crescendo de conscientização da sociedade e ações de governos, empresas e indivíduos no sentido de reagir à esta mudança. As reações possíveis, além evidentemente da inação, são a mitigação e a adaptação. A mitigação compreende as ações de redução das emissões líquidas antrópicas de gases de efeito estufa; a adaptação trata das medidas para diminuir os prejuízos resultantes da mudança do clima. A combinação

preferida entre inação, mitigação e adaptação pode ser resumida na escolha de um limite tolerável para a mudança do clima.

Como reação ao primeiro relatório do IPCC, a Assembléia Geral da ONU estabeleceu em 1990 um processo negociador que culminou com a adoção, em 1992, do texto de uma Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, ou simplesmente Convenção, em vigor desde 1994. A Convenção tem como meta a estabilização da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível seguro, embora não especifique tal valor. A Convenção registrou ainda o princípio de que há uma responsabilidade comum de todos os países, diferenciadas em função das respectivas capacidades de ação.

Na primeira Conferência das Partes da Convenção (COP1) em 1995, a avaliação da adequação dos compromissos assumidos pelos países industrializados para atingir sua meta concluiu pela sua insuficiência para estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, e resultou em mandato de negociação de um protocolo (o Protocolo de Quioto), adotado em 1997 e em vigor desde 2005.

O Protocolo de Quioto, em sua essência, estabeleceu limites para as emissões nacionais agregadas para os países já industrializados, programas nacionais de mitigação de emissões para todos os países, e mecanismos de “mercado de carbono” para minimizar o custo geral das reduções de emissões. O primeiro período de verificação do cumprimento das metas de Quioto é de 2008 a 2012. Discute-se portanto hoje em dia os limites para um segundo período.

Em paralelo a esse processo, a décima terceira Conferência das Partes da Convenção (COP-13) adotou em Bali, Indonésia, um plano de ação de dois anos pelo qual na COP-15, no final de 2009, em Copenhague, seriam adotadas decisões relativas a um acordo mais amplo do que o Protocolo de Quioto, visando a meta da Convenção, de estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera.

O processo de negociação internacional, na vertente do Protocolo de Quioto, encaminha-se para uma definição de novos limites para as emissões dos países industrializados até o ano de 2020. É razoável supor que tais valores somente sejam definidos ao final do processo de negociação da outra vertente. Os limites sob o Protocolo de Quioto são importantes inclusive porque terão impactos diretamente sobre o valor de mercado dos “créditos de carbono” do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Na outra vertente das negociações, sob a égide da Convenção, mas fora do escopo do Protocolo de Quioto, trata-se de estabelecer um regime de prazo mais longo, que possa conduzir a atingir a meta da Convenção. Embora a meta da Convenção mencione a estabilização da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, a tendência hoje em dia é de buscar um limite para o aumento de temperatura. Esta variável está relacionada mais diretamente com a magnitude dos prejuízos devidos à mudança do clima. Além disso, como visto acima, há mais de um perfil temporal de concentrações e de emissões que levam ao mesmo resultado, o que introduz um grau adicional de flexibilidade e, portanto tende a minimizar os custos de mitigação.

Embora as negociações oficiais ocorram nas Conferências das Partes da Convenção, vários encontros de alto nível tendem a incluir em suas agendas o tema da mudança do clima, buscando construir o consenso necessário para o sucesso das conferências oficiais. A reunião

mais recente foi o Fórum das Principais Economias (MEF), que registrou o consenso entre os 14 países participantes de que se deve limitar a mudança do clima a um aumento da temperatura de dois graus Celsius no final do século.

Um limite para o aumento de temperatura (por exemplo, dois graus Celsius) implicaria na necessidade de reduzir as emissões líquidas antrópicas globais de gases de efeito estufa em cerca de sessenta por cento em relação aos seus níveis de 1990. Como primeira sugestão, os principais países industrializados reunidos no G8 (incluindo a União Européia) na mesma ocasião, esboçou um esforço no sentido de reduzir suas emissões em oitenta por cento, permitindo uma ação mais lenta por parte dos países emergentes. Embora tais projeções, com quatro décadas de antecedência, estejam sujeitas a muitas incertezas, e ainda não foram adotadas, elas transmitem uma sinalização clara de longo prazo no sentido de uma mudança significativa da matriz energética mundial, com efeitos para todos os países.

Biocombustíveis; etanol no Brasil e mudanças climáticas

Estudos globais (Pacala 2004) mostram que os biocombustíveis renováveis são um componente necessário dessa transformação; não será possível atingir a meta contemplada de limitação do aumento de temperatura sem um aumento expressivo da participação dos biocombustíveis renováveis na nova matriz energética.

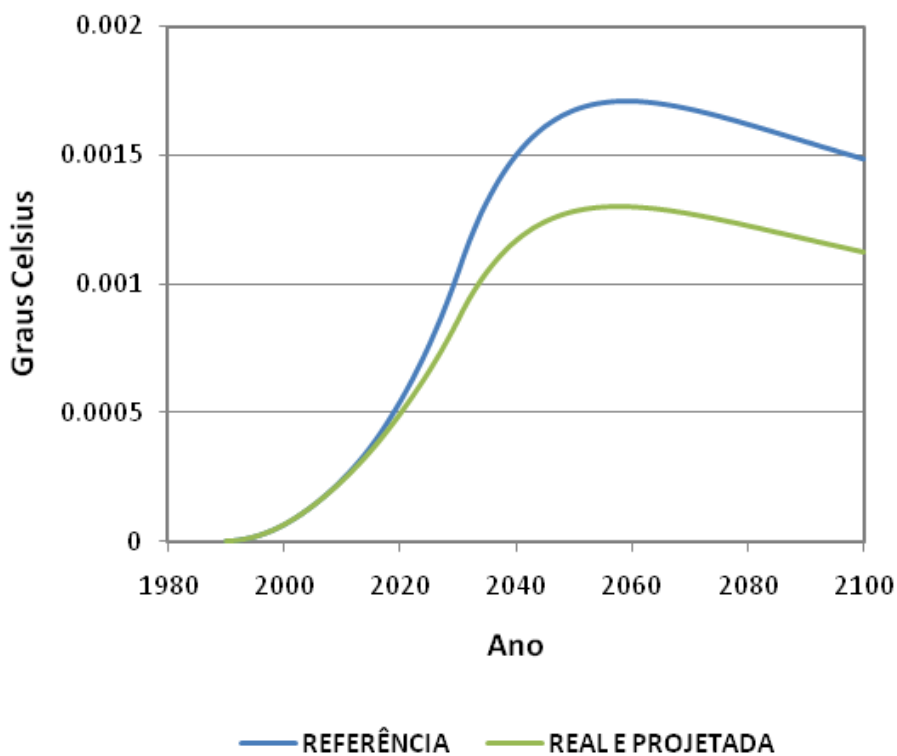
É interessante considerar o efeito da introdução do etanol no Brasil como combustível em substituição à gasolina sobre o aumento da temperatura do planeta. Para isto é necessário estabelecer uma referência. Tem sido comum utilizar como referência uma linha de base, ou cenário “business-as-usual”, correspondendo ao que ocorreria sem que medidas fossem tomadas visando a redução de emissões. Este cenário de emissões é adotado pelo IPCC com base em projeções demográficas, de intensidade de uso de energia e de tecnologia usada para sua geração, para todo o mundo, embora por vezes construídos por regiões. No caso de projetos individuais, como no MDL, a linha de base é construída com base em uma metodologia aprovada e que busca estabelecer o cenário mais verossímil dentre os cenários que sejam plausíveis nas circunstâncias do país e do setor considerados. Os cenários de linha de base, ou BAU, são hipotéticos, ou um contrafactual – cenário de futuro que poderia ocorrer, mas não ocorreu – e, portanto não sujeitos a demonstração ou verificação objetiva. Além disso, tais cenários prestam-se a manipulações.

A única forma de evitar esses problemas é adotar uma referência fixa e portanto mensurável. A tendência já na convenção e particularmente no Protocolo de Quioto, é de adotar as emissões no ano de 1990 como referência fixa. A necessidade de redução das emissões globais em 60%, mencionada acima, refere-se aos níveis de 1990.

Usando como base ano de 1990, adotado como referência nas negociações internacionais, pode-se calcular a contribuição para a mudança do clima resultante do uso da gasolina e do etanol para um certo período, por exemplo entre 1990 e 2030. Esta referência corresponde a manter o volume de etanol já produzido em 1990 (11,8 M m³) constante no período, com o consumo de combustível para motores do ciclo Otto sendo completado com gasolina até os valores de demanda real (1990 a 2008) e projetada (EPE 2007) (entre 2008 e 2030). Contra esta referência é calculado o efeito do etanol, medido pelo consumo de etanol e gasolina (real, 1990 a 2008; projetado, 2008 – 2030).

A Figura 1 mostra o aumento da temperatura média global da superfície, indicando a magnitude da mudança do clima, gasolina, por um lado, e da introdução do etanol como substituto a partir daquela data. A Figura 2 mostra o aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono para os dois casos. O cálculo considera as emissões relativas ao etanol e gasolina (como na Tabela 5), pela dinâmica dos processos de absorção do CO₂ no sistema terrestre, e pelo resultado do efeito estufa em si, no aumento de temperatura.

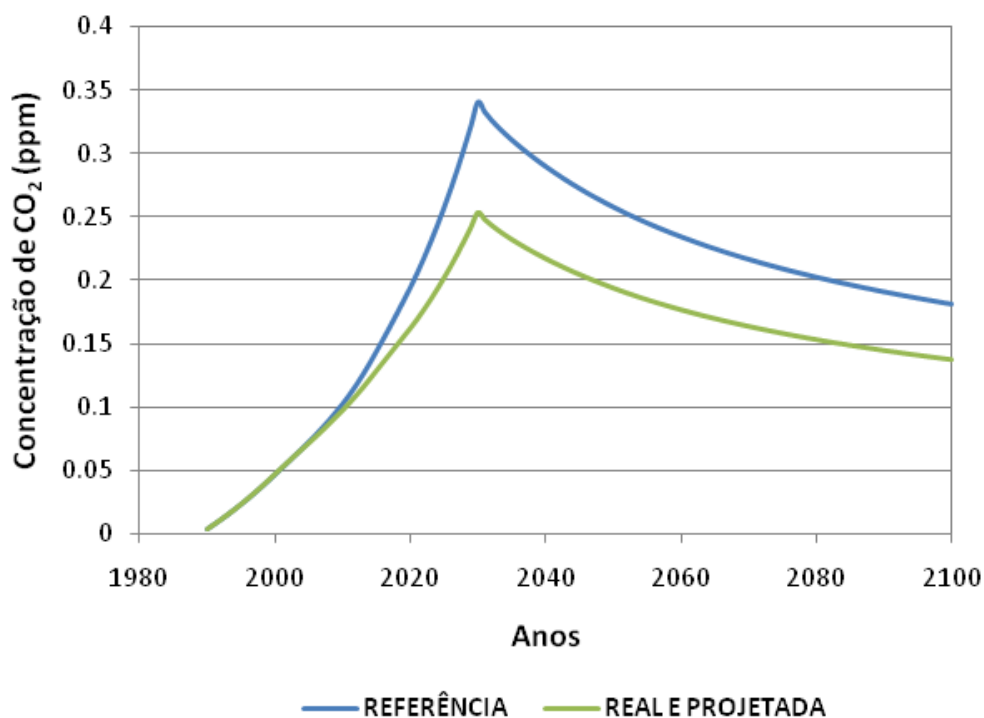
Figura 1. Aumento da temperatura média global da superfície resultante do uso de etanol e gasolina no Brasil, de 1990 a 2030



Referência: volume de etanol constante no nível de 1990, de 1990 a 2030

Real e projetada: consumo real (1990 – 2008) e projetado (2008-2030)

Figura 2. Efeito na concentração de CO₂e na atmosfera resultante do uso de etanol e gasolina no Brasil, de 1990 a 2030



Referência: volume de etanol constante no nível de 1990, de 1990 a 2030

Real e projetada: consumo real (1990 – 2008) e projetado (2008-2030)

O horizonte da previsão é o ano de 2100, que é normalmente adotado pelo IPCC e nas negociações políticas sobre o regime futuro de mudança do clima. Note-se que foram utilizados somente dados oficiais, e até o horizonte onde são disponíveis, 2030, para evitar qualquer pré-julgamento do que ocorrerá após aquela data, (emissões nulas de 2030 a 2100). É interessante notar que, em que pese o fato de o Plano Nacional de Mudança do Clima prever ações para a mitigação, e, portanto para a limitação das emissões de gases de efeito estufa, o planejamento governamental detalhado, publicado no planejamento energético, prevê a retomada de crescimento exponencial do consumo de gasolina a partir de 2020, mantendo uma proporção constante entre o consumo do etanol e da gasolina, sem um aumento da proporção do etanol que pareceria ser compatível com os objetivos do PNMC.

Perspectivas das negociações internacionais

As tendências atuais das negociações internacionais são no sentido de:

- Limite de 2 graus Celsius para o aumento de temperatura em 2100;
- Redução de emissões dos países industrializados de 80% em relação aos níveis de 1990;
- Redução de emissões dos países emergentes em relação à tendência atual;
- Consideração especial para os países de menor desenvolvimento relativo.

Considerações físicas permitem afirmar que, para lograr a estabilização da temperatura, será necessário antes obter a estabilização da concentração de dióxido de carbono (e outros GEE) na atmosfera. Para estabilizar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera será necessário reduzir as emissões líquidas antrópicas a um nível 60% menor do que o verificado em 1990. Este raciocínio nos permite estimar o nível de emissões possíveis nos países em desenvolvimento tal que, em conjunto com a redução de 80% das emissões de países industrializados, resulte em redução de 60% nas emissões globais. Como em 1990 as emissões dos países industrializados eram iguais a três quartos das emissões mundiais, as propostas em consideração hoje nos levam a concluir que será necessário que os países emergentes limitem suas emissões ao nível de 1990.

Não há indicações sobre a repartição desse limite entre os países emergentes. Supondo, no entanto, para efeitos de ilustração, que cada um deles o faça individualmente, conclui-se que o Brasil deverá adotar medidas, em seu planejamento nacional para alcançar a estabilização de suas emissões no nível de 1990. O planejamento energético em sua forma atual não indica ações nesse sentido, e, portanto é razoável supor que precisará ser revisto para adequá-lo aos objetivos declarados da política nacional e do plano nacional sobre mudança do clima.

As formas a serem adotadas para a limitação das emissões de gases de efeito estufa, em geral, podem ser classificadas em três grandes grupos:

- i) Políticas e medidas regulatórias que obriguem à adoção de certas práticas, por exemplo, padrões de eficiência energética, proibição pura e simples de algumas práticas, etc. Em geral, medidas deste tipo tendem a ser as menos eficientes, no sentido de que tendem a aumentar o custo para a sociedade das medidas de contenção de emissões;
- ii) Medidas tributárias, que vão desde a imposição de um imposto sobre a emissão de gases de efeito estufa, ou “carbon tax”, até renúncias fiscais (que são impostos negativos) e disponibilização de crédito em condições favorecidas para empreendimentos que resultem em diminuição de emissões;
- iii) Mecanismos de limitação e comércio de emissões (“cap-and-trade”), pelos quais a imposição de limites de emissões é acompanhada de preparação (e permissão para comercializar) de certificados de permissão de emissões em volume compatível com a limitação desejada. Este sistema é adotado hoje na União Européia, com o “European Trading Scheme”. Em determinadas condições de controle de emissões de fontes estacionárias, com tecnologia disponível, este esquema pode resultar na minimização dos custos para a sociedade como um todo, já que o mercado se encarrega de garantir que as reduções ocorrerão onde o seu custo marginal for mais baixo.

Há ainda uma tendência inovadora de combinação da segunda e terceira abordagens, como por exemplo, no projeto de lei Waxmann-Markey, aprovado pela Câmara dos Estados Unidos, em que as permissões são leiloadas e não concedidas gratuitamente. Este modelo recebeu recentemente declaração de interesse por parte do Secretário de Política Econômica do Ministério da Fazenda do Brasil.

Além do debate sobre metas globais para o aumento de temperatura (portanto para as emissões globais), da repartição dessas metas entre países ou grupos de países, e do elenco de possíveis políticas internas a serem adotadas pelos países, e pelo Brasil em particular, restam ainda a questão dos mecanismos internacionais pelos quais as limitações de emissões possam

ser manejadas entre países – o comércio internacional de carbono, e o tema da competitividade relativa do Brasil.

O debate internacional sobre o mercado internacional de carbono é ainda extremamente limitado. O mecanismo existente no âmbito do Protocolo que Quioto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, tem limitações, notadamente para as energias renováveis e o etanol.

Quanto às metas internacionais, há necessidade de que sejam adotadas de maneira uniforme, incluindo China e Índia, para proteger a competitividade de nossa indústria.

Também devem ser incorporadas as vantagens do Brasil, com sua matriz energética relativamente limpa – há que quantificar e transferir isso para que sejam traduzidas em vantagens no comércio internacional.

Referências Bibliográficas

- Amaral 2008. Amaral, W. A. N. et al; Environmental Sustainability of sugar cane ethanol in Brazil, in “Sugar cane ethanol: Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment”. Ed Peter Zuurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008
- CEPEA 2007. Cenários (oferta e demanda) para o setor de cana de açúcar. CEPEA, Piracicaba, 2007 (Reservado).
- CETESB 2008. CETESB: Relatório da Qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2007. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, CETESB. 2008
- EPE 2007. Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Planejamento Energético, MME, 2007.
- Fischedick 2008. Mitigation Potential, cost of renewable energy systems and costs of transition Fischedick, M.; in IPCC Scoping Meeting on Renewable energy sources – Proceedings; Lubeck, January 2008)
- IEA 2008. Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies for 2050. International Energy Agency, OECD/IEA, 2008
- IE-UFRJ 2006. Matriz Brasileira de Biocombustíveis. Proj. NAE-CGEE/IE-UFRJ, GEE. Instituto de Economia, UFRJ, Dec 2006
- IPCC 2007-a. Technical Summary. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007-b. R.E.H. Sims et al; **Energy supply**. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007-c. Kahn Ribeiro, S. ET al: **Transport and its infrastructure**. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Joseph Jr 2005. Joseph Jr, H. The use of ethanol blends as regular fuel for existing vehicular fleets. Report for the Brazilian Ethanol Mission to Japan, UNICA–COIMEX, 2005.
- Macedo 1992. Macedo, I C. The sugar cane agro-industry and its contribution to reducing CO₂ emissions in Brazil. *Biomass and Bioenergy* 1992; 3, pp. 77-80.
- Macedo 2007. Macedo, IC; Seabra, JEA; Silva, JEAR; Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugar cane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy* (2008), doi:10.1016/j.biombioe.2007.12.006
- Macedo 2008. Macedo, I C; GHG mitigation and cost analyses for expanded production and use of ethanol fuel in Brazil. Final Report, Center for Clean Air Policy – CCAP, Washington DC, July 2008

Macedo e Seabra, 2008. Macedo, I C e Seabra, J E A. Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol; in “Sugar cane ethanol: Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment”. Ed Peter Zurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008

McKinsey 2009. Pathways for a low Carbon economy –Version 2 of the Global GHG Abatement Cost Curve, McKinsey & Company, 2009

MAPA 2007. Projeções do Agronegócio – Mundo e Brasil, 2006/07 a 2017/18. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Assessoria de Gestão Estratégica. Dec. 2007

Nassar 2008. Nassar, A. M. et al; Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use change; “Sugar cane ethanol: Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment”. Ed Peter Zurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008

Pacala 2009. Pacala, S. e Socolow, R.; Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies . Science, Vol. 305, Issue 5686, pp. 968-972, August 13, 2004.

UNICA 2008. Citado por R Rodrigues, Cenários e Respostas para a Agro-energia, S Paulo, 23/09/2008

Seabra 2008. Seabra, J E A. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa da cana no Brasil. Tese de Doutorado, UNICAMP, FEM – Planejamento de Sistemas Energéticos, Julho 2008

WEO 2008. World Energy Outlook 2008; International Energy Agency, OECD/IEA 2008

WEO 2008-a. Tanaka, N. : World Energy Outlook 2008: Options for a cleaner, smarter energy future. UNCCC, Poznan, Dec 2008