

Capítulo 4:

Impactos no clima global: emissões de gases de efeito estufa

O Brasil começa a preocupar-se com as consequências do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. O uso da energia renovável do etanol possibilita evitar a emissão destes na proporção de cerca de 13% das emissões de todo o setor energético do país. Para cada 100 Mt de cana-de-açúcar adicionais, poderiam ser ainda evitadas emissões de 12,6 Mt equivalentes de CO₂, com etanol, bagaço e com a energia elétrica excedente adicional.

4.1 Introdução; conceitos e o contexto mundial

Emissões de combustíveis fósseis foram responsáveis, na década de 1990, por 82% do poder de aquecimento das emissões de gases de efeito estufa nos Estados Unidos. Os países desenvolvidos contribuíram com 84% do total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde 1800 no mundo.¹ Independentemente do nível estabelecido como limite (em discussão) para as emissões anuais, os países desenvolvidos deverão reduzir suas emissões atuais para acomodar o crescimento dos não desenvolvidos; as diferenças em emissões totais (e também entre as emissões *per capita*) são muito grandes. Em 1996, as emissões de carbono *per capita* nos Estados Unidos foram de 5,37 t; na maioria da Ásia e América Latina, 0,5 a 1,0; no Japão e Europa Ocidental, entre 2 e 3.

Dentre as soluções parciais em consideração, incluindo as de conservação de energia, seqüestro de carbono e o uso do conjunto de energias “renováveis”, o uso da biomassa para substituir combustíveis fósseis tem despontado como uma grande oportunidade; os esforços para desenvolver e implementar tecnologias neste sentido são muito grandes. O uso do etanol de cana, associado ao bagaço, tem aparecido como uma primeira experiência com resultados positivos em grande escala.

Os tópicos a seguir descrevem o conhecimento atual sobre as mudanças climáticas advindas da concentração na atmosfera de gases de efeito estufa; o impacto e a vulnerabilidade do sistema de produção agrícola às mudanças; as emissões de gases de efeito estufa no Brasil e as emissões evitadas com a agro-indústria da cana no Brasil.

As condições para a produção de cana e etanol no Brasil concorrem para um resultado extremamente positivo na redução das emissões, colocando o etanol em posição de destaque como combustível para o mundo.

¹ BROWN, D.A.: “Climate change”, in: DERNBACH, J.C. (Ed.): *Stumbling toward sustainability*, Washington DC, Environmental Law Institute, 2002

4.2 Mudanças globais do clima: o conhecimento atual

Luiz Gylvan Meira Filho
Institutos de Estudos Avançados, USP

A mudança do clima de que trata a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, e o seu Protocolo de Kyoto, é aquela mudança, de caráter global, causada pelo aumento gradual da quantidade, ou concentração, do dióxido de carbono e outros gases, como resultado da ação do homem.

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera já aumentou de 280 ppmv (partes por milhão em volume), há cerca de dois séculos, para 370 ppmv hoje, e continua aumentando.

Embora esta quantidade seja muito pequena comparada com o nitrogênio e o oxigênio, que juntos correspondem a cerca de 99% de nossa atmosfera, o gás carbônico e os outros gases, ditos de efeito estufa, são responsáveis por impedir o resfriamento natural da superfície pela radiação infravermelha. Quem mora em climas frios sabe que as noites de inverno sem nuvens são muito frias, exatamente devido a esse resfriamento por radiação. Ora, ao impedir o resfriamento natural, o efeito estufa causa um aumento da temperatura da superfície e outras mudanças decorrentes no clima em geral.

O efeito estufa é um efeito natural. Se não existisse, a temperatura média da superfície do planeta seria cerca de 30 °C mais fria do que é hoje. O que está ocorrendo é que, aumentando a concentração do gás carbônico na atmosfera, a estufa de nosso planeta se torna mais eficiente. Desde o período pré-industrial, a temperatura média global da superfície já aumentou cerca de 0,6 °C. As previsões do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, das Nações Unidas (www.ipcc.ch), são de que, até o ano 2100, a temperatura aumente mais cerca de 3 °C, se não tomarmos providências no sentido de mitigar esse aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera.

Além do dióxido de carbono, também o metano e o óxido nitroso, resultantes das atividades humanas, sem mencionar outros gases de efeito estufa com efeito muito menor, estão aumentando na atmosfera e contribuem para a mudança do clima.

Em face do problema, só há três alternativas possíveis:

i. a inação, que implica aceitar a mudança do clima e os danos que serão causados por ela, e que atingem o seu máximo somente muitos anos depois da emissão dos gases para a atmosfera (cerca de 20 anos de atraso no caso

do metano, 40 anos para o dióxido de carbono e 50 anos para o óxido nitroso).

ii. a mitigação da mudança do clima, por meio da redução das emissões dos gases de efeito estufa ou, no caso do dióxido de carbono, da sua retirada da atmosfera, o chamado seqüestro de carbono. A retirada do dióxido de carbono da atmosfera pode ser temporária, pela sua fixação na biosfera, como por exemplo plantando árvores, ou de prazo mais longo, no caso do chamado seqüestro geológico, injetando o gás carbônico em poços de petróleo etc.

iii. a adaptação à mudança do clima, por meio de medidas para minimizar os danos resultantes. Em forma muito esquemática, são medidas de adaptação o aumento do nível de diques de contenção do oceano, para diminuir os danos decorrentes de uma elevação do nível dos mares, ou de um modo geral as medidas que visam ampliar a resistência às variações climáticas que tenderão a aumentar em amplitude e frequência com a mudança do clima. Há muitos casos, no entanto, em que a adaptação simplesmente não é possível. Os melhores exemplos são o derretimento da calota polar Ártica e, no caso do Brasil, a tendência de “savanização” das bordas da Floresta Amazônica em decorrência da modificação do regime de chuvas como parte da mudança do clima.

Em 1990, a Assembleia Geral das Nações Unidas adotou resolução no sentido de que é necessária uma ação global para proteger o clima de mudanças e decidiu que fosse negociada uma Convenção para tratar do tema. Essa tarefa foi realizada em dois anos e em 1992, no Rio de Janeiro, foi aberta à assinatura dos países a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A Convenção foi firmada e ratificada por praticamente a totalidade dos países.

De acordo com a Convenção, os países se comprometem a estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera em níveis tais que seja evitada a interferência humana perigosa sobre o sistema climático (atmosfera, oceanos e biosfera). Não há uma resposta única para a questão de qual o nível de concentração dos gases na atmosfera que não deve ser ultrapassado, pois a partir daí a mudança do clima passaria a ser considerada perigosa. Isso porque os efeitos danosos da mudança do clima são distintos em diferentes regiões e em diferentes setores das atividades humanas.

É plausível ainda admitir que inicialmente um pequeno aumento da temperatura possa ter até efeitos benéficos ao melhorar as condições climáticas para a agricultura em regiões de clima muito frio. Em geral, no entanto, há um consenso cada vez maior de que não se deveria deixar o aumento da temperatura média global ultrapassar cerca de 2 °C no ano 2050. Esta é, em par-

particular, a opinião dos países europeus. O tema foi objeto de debate científico em recente conferência científica internacional organizada pela Grã-Bretanha.²

Como um primeiro passo na direção do objetivo da Convenção, foi adotado em 1997 o seu Protocolo de Kyoto, que entrou em vigor em fevereiro de 2005, com a notável ausência dos Estados Unidos e da Austrália, países que indicaram a intenção de perseguir o objetivo da Convenção por outros caminhos. O Protocolo de Kyoto tem a característica notável de estabelecer mecanismos de compensação da redução de emissões entre projetos e entre países. A razão para isso é buscar diminuir o custo global da redução de emissões, pois os mecanismos de compensação liberam forças de mercado que tendem a fazer com que as reduções ocorram nos setores onde o custo seja menor.

No caso do Brasil, a experiência tem demonstrado que há condições competitivas favoráveis especialmente no uso da biomassa como fonte de energia. Em particular a substituição da gasolina pelo etanol no setor de transportes e a substituição do coque siderúrgico por carvão vegetal na fabricação de ferro gusa (e diretamente aço, em alguns casos).

É interessante notar que a tendência mundial, irreversível, de limitar as emissões de gases de efeito estufa, notadamente o gás carbônico, tem o efeito imediato de valorizar o uso de combustíveis renováveis. Em consequência, a consideração deste fator deverá servir para ou valorizar esses combustíveis ou, no caso da siderurgia a carvão vegetal, o próprio produto, seja pela exigência do mercado, seja pelo uso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para propiciar uma margem econômica em alguns casos essencial para a viabilização das atividades.

Com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, as atenções internacionais voltam-se para a definição do regime internacional sobre mudança do clima que deverá ser adotado após 2012. A participação dos setores interessados é essencial para garantir que as vantagens competitivas do Brasil sejam levadas em conta no futuro.

4.3 Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima; o conhecimento hoje

Carlos A. Nobre

CPTEC/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

4.3.1. Introdução

Em 2004 o CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos organizou um estudo³ visando avaliar as condições de vulnerabilidade, os impactos e adaptação no Brasil a mudanças de clima decorrentes das maiores concentrações de GEE na atmosfera, assim como as negociações internacionais sobre a mitigação destas mudanças. Esse estudo tem uma grande abrangência, considerando a vulnerabilidade e impactos em florestas e agropecuária, solos, biodiversidade; aspectos regionais como as regiões costeiras e o semi-árido, aspectos da vulnerabilidade social; recursos hídricos. Como em grande parte dos países em desenvolvimento, ainda são áreas onde há grande carência de informação. O presente resumo traz alguns resultados de interesse para a área agrícola, no Brasil.

Nas discussões sobre mudanças climáticas, vulnerabilidade, impactos e adaptação têm uma conotação particular. *Vulnerabilidade* refere-se ao nível de reação de um determinado sistema para uma mudança climática específica. *Impactos* (climáticos) referem-se às consequências da mudança climática nos sistemas naturais e humanos. *Adaptação* descreve ajustes em sistemas ecológicos ou socioeconômicos em resposta às mudanças climáticas correntes ou projetadas, resultantes de práticas, processos, medidas ou mudanças estruturais.

As avaliações do IPCC indicam que os países em desenvolvimento estão entre os mais vulneráveis às mudanças do clima. No caso do Brasil, impactos adversos impostos pela variabilidade natural do clima são, por exemplo, as secas e estiagens, as cheias e inundações e os deslizamentos em encostas.

Estratégias de adaptação e/ou mitigação dependem de haver cenários críveis de mudanças climáticas na escala temporal de décadas em escala regional; o conhecimento atual não permite ainda estabelecer estes cenários com grande confiança. Ainda que todas as projeções indiquem aumento de temperatura, para um país tropical como o Brasil é fundamental avançar para obter cenários confiáveis de mudanças prováveis do ciclo hidrológico, uma vez que muitos dos impactos estão relacionados primordialmente à água. Embora centros no Brasil estejam desenvolvendo capacidade para estabelecer cenários regionais com o *downscaling* (regionalização) de cenários provenientes de modelos globais, a incerteza inerente aos modelos climáticos globais permanece. A

³ “Atividade prospectiva em mudança do clima”, Brasília, CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agosto 2004

maior dificuldade ao analisar potenciais impactos setoriais é exatamente advinda da incerteza sobre o comportamento futuro do regime de chuvas; isto nos obriga ainda a trabalhar com um amplo leque de cenários possíveis.

A temperatura média global do planeta à superfície elevou-se de 0,6 °C nos últimos cem anos, com acentuada elevação desde as décadas de 1960-70. A última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos mil anos da história recente da Terra. Hoje, através das análises sistemáticas do IPCC, há um razoável consenso de que o aquecimento global observado nos últimos cem anos é provavelmente explicado principalmente pelas emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa e não por eventual variabilidade natural do clima.⁴ Até o início da Revolução Industrial, no final do século XVIII, as concentrações atmosféricas do dióxido de carbono (CO₂) flutuaram entre 180 partes por milhão em volume (ppmv) e 200 ppmv da massa total da atmosfera (caracterizando-o como um gás minoritário) por, no mínimo, 700 mil anos, mas possivelmente por mais de 5 milhões de anos. Nos últimos anos, a concentração deste gás já ultrapassou 375 ppmv e continua a subir, com a injeção de cerca de 8 a 9 bilhões de toneladas de carbono (na forma de CO₂) por ano devido à queima de combustíveis fósseis e mudanças antrópicas dos usos da terra, principalmente os desmatamentos das florestas tropicais. A concentração na atmosfera de outros importantes gases de efeito estufa (CH₄, N₂O) tem aumentado a taxas até mais altas do que para o CO₂.

4.3.2 Cenários de mudanças climáticas para a América do Sul na década de 2090-2100

Para projetar cenários prováveis de alterações climáticas para o futuro são usados modelos matemáticos do sistema climático global que consideram o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, solo-vegetação etc.) e de suas interações. Esses modelos permitem simular cenários de evolução do clima, para vários cenários de emissões dos GEE. Dadas as incertezas sobre as emissões futuras de GEE e as advindas das imperfeições dos próprios modelos, diversos modelos e cenários são utilizados.

As Figuras 1 e 2 mostram cenários climáticos para a América do Sul na década 2091-2100 para cinco diferentes modelos climáticos globais e dois cenários de emissões de GEE do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas⁵: A2 é um cenário de emissões elevadas de GEE, isto é, a manutenção dos padrões de emissões de GEE observados nas últimas décadas; este cenário implicaria em chegarmos a 2100 com concentrações atmosféricas de CO₂ de 850 ppmv; e, B2 é um cenário de menores emissões, com estabilização das emissões de GEE, e concentração, no final deste século, de 550 ppmv.

Figura 1: Projeções de alterações da temperatura à superfície para 2091-2100 calculadas por cinco modelos climáticos globais,⁶ IPCC Data Distribution Center

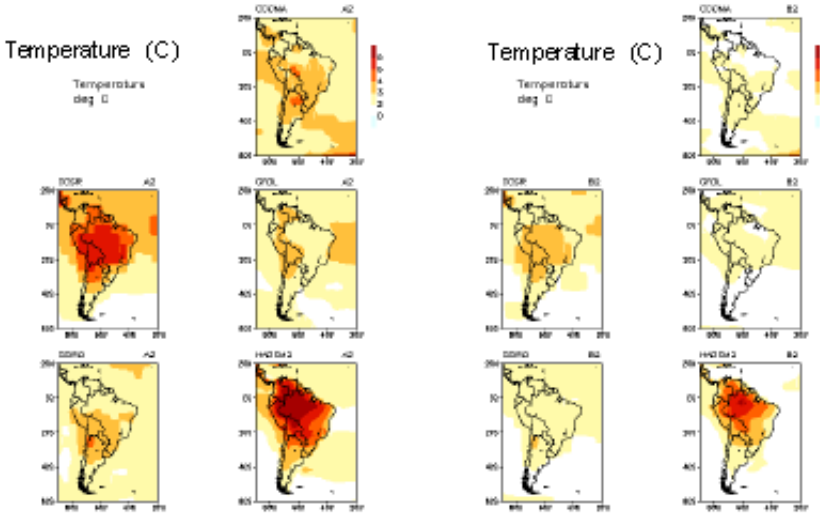
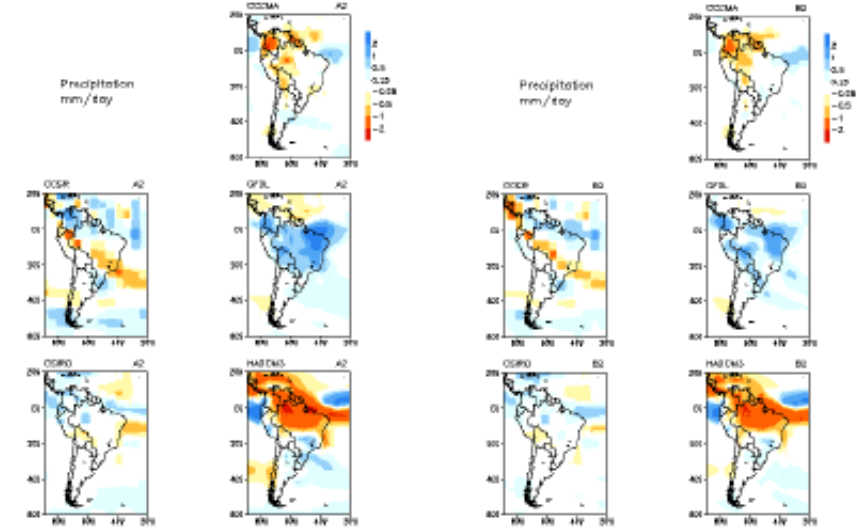


Figura 2: Projeções de alterações da precipitação pluviométrica para 2091-2100 calculadas por cinco modelos climáticos globais⁶



A análise destes cenários mostra uma maior variação das anomalias de temperatura e precipitação pluvial entre diferentes modelos climáticos do que entre o cenário de altas emissões (A2) e o cenário de baixas emissões (B2). Para a temperatura, projeta-se uma faixa de variação de 1 a 4 °C no cenário B2 até 2 a 6 °C, para o cenário A2: um clima substancialmente mais quente para qualquer dos

⁴ HOUGHTON, R.A. et al.: *Climate change 2001: The scientific basis*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001

⁶ RUOSTEENOJA, K. et al., IPCC Data Distribution Center, 2003

⁵ NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (Eds.): *Emissions scenarios 2000: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University, 2000

cenários e modelos climáticos tomados. Para as projeções de alterações da precipitação pluviométrica, o quadro é bem mais complicado. Ao contrário dos padrões de temperatura (onde todas as projeções indicam aquecimento), diferentes modelos climáticos mostram diferenças significativas de padrões pluviométricos, às vezes com projeções quase que diametralmente opostas. Por exemplo, o modelo GFDL (EUA) indica aumento das chuvas na América do Sul tropical, enquanto outros modelos climáticos indicam redução (como o HADCM3, Grã-Bretanha) ou pouca alteração. Portanto, o estado da ciência atual ainda não permite estabelecer cenários de alterações confiáveis do regime hidrológico em escala regional, de modo a subsidiar políticas públicas ativas no sentido de mitigar vulnerabilidades e/ou buscar potencial adaptação às mudanças climáticas. É possível que o avanço do conhecimento científico leve, talvez em menos de dez anos, à diminuição das incertezas nestas projeções. De qualquer maneira, há a indicação de maior ocorrência de extremos climáticos e de eventos intensos (secas, veranicos, vendavais, tempestades severas) num planeta mais aquecido.

O possível aumento dos extremos climáticos nos remete ao problema da vulnerabilidade das populações e dos ecossistemas a estas mudanças. Com um clima mais aquecido, haverá mais vapor d'água na atmosfera e uma aceleração do ciclo hidrológico. Esta é uma das projeções de mudanças climáticas considerada de elevada confiabilidade. Esta aceleração implica aumento da frequência de tempestades severas e intensas, com conseqüências que podemos avaliar.

4.3.3 Impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas e nos agro-ecossistemas

As possíveis alterações dos grandes biomas naturais brasileiros como resposta aos cenários de mudanças climáticas indicadas nas **Figuras 1 e 2** foram avaliadas pelo CPTEC/INPE.⁷ Lembramos que ecossistemas naturais não têm capacidade de migração ou adaptação às mudanças climáticas projetadas na escala de tempo em que estão ocorrendo, isto é, décadas; portanto devemos esperar rearranjos significativos dos ecossistemas e biomas.

As maiores diferenças de projeções de distribuição futura de biomas se encontram novamente na comparação entre os modelos GFDL e HADCM3, atribuíveis às diferenças nos padrões de precipitação. Como no primeiro as chuvas aumentam na América do Sul tropical, não haveria sensível alteração na distribuição da Floresta Amazônica, mas haveria uma expansão do cerrado para nordeste, substituindo a caatinga do semi-árido nordestino. Para os demais cenários, há uma tendência à “savanização” de partes da Amazônia (isto é, expansão do cerrado para norte) e mesmo tendência da caatinga de

parte do semi-árido tornar-se um semideserto. Em geral, há uma projeção de aumento da área de savanas na América do Sul tropical e uma diminuição da área de caatinga. Quatro dos cinco cenários indicam diminuição da área coberta pela floresta tropical amazônica. Em particular, o modelo HADCM3 é o que coloca o cenário mais extremo para a Amazônia, chegando a se especular sobre um possível completo desaparecimento da Floresta Amazônica.⁸

Um raciocínio análogo pode ser feito sobre impactos das projeções das mudanças climáticas nos agroecossistemas. De modo geral, com exceção do modelo GFDL, há tendência de menor disponibilidade hídrica em partes da Amazônia, Nordeste e Centro-Oeste, que poderiam afetar negativamente a agricultura, principalmente no Nordeste e Centro-Oeste. No Sul e Sudeste, essas projeções indicam modificações bem menores no regime hidrológico. Entretanto, para projeções de impactos no setor agrícola e, conseqüentemente, para avaliação das vulnerabilidades, devem-se considerar os efeitos da temperatura e da concentração do dióxido de carbono, o chamado efeito de “fertilização” de CO₂, sendo que geralmente um aumento pronunciado da temperatura média é prejudicial às culturas se colocá-la fora de sua faixa ótima e, ao contrário, o aumento da concentração de CO₂ resulta normalmente em maior produtividade para as culturas.

Há poucos estudos tratando dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. Alguns dos estudos utilizaram cenários futuros de mudanças climáticas a partir de modelos climáticos globais e buscaram calcular efeitos negativos e positivos sobre a produtividade das culturas de trigo, milho e soja^{9, 10, 11} ou sobre o impacto das mudanças climáticas na incidência de pragas na cultura de trigo no Sul do Brasil.¹² Outros estudos analisaram o risco agroclimático da cultura de café a extremos climáticos.^{13, 14} Para o Estado de São Paulo, por exemplo, foi calculado que, com um aumento de 3 °C na temperatura média e 15% nas chuvas, somente 15% da área do Estado seriam propícias à cultura do café arábica (contra 40% hoje), mesmo se considerando que não haveria mais risco de geadas nestes cenários.

De modo geral, os vários estudos sobre impactos na produtividade agrícola das culturas de milho, trigo e soja não permitem conclusão segura de que o efeito do aumento das temperaturas contribui para a redução da produtividade, inclusive devido à maior incidência de pragas; isto pode ser compensado, até certo ponto, pelo aumento da concentração de dióxido de carbono. Efeitos sobre os solos (novo equilíbrio físico-químico e biológico, influenciando na fertilidade) também precisam ser avaliados. Nota-se que todos os estudos utilizaram modelos matemáticos para estimar os impactos na agricultura, porém falta maior validação dos resultados com experimentação de campo.

⁷ NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.S.; MARENGO, J.A.; SALATI, E.: “Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America”, First International CLIVAR Conference, Baltimore, USA, 21-25 June 2004. <http://www.clivar2004.org>

⁸ COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J.: “Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model”, Londres, Nature, vol. 408, 2000, pp. 184-187

⁹ SIQUEIRA, O.J.W.: “Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas”, in: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Eds.): *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*, Jaguariúna, SP, EMBRAPA Meio Ambiente, 2001, pp. 65-96

¹⁰ SIQUEIRA, O.J.W.; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M.L.: “Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture and adaptive strategies for wheat, maize and soybean”, Revista Brasileira de Agrometeorologia, 2, 1994, pp. 115-129

¹¹ TRAVASSO, M. et al.: “Expected impacts of climate change on crop yields in the Pampas region of Argentina, Brazil and Uruguay” (AIACC Project No. LA27), Second AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean, Buenos Aires, Argentina, 24-27 August 2004

¹² FERNANDES, J.M. et al.: “Expected impacts of climate change on the incidence of crop disease in the Pampas region of Argentina, Brazil and Uruguay: Modeling fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based model” (AIACC Project No. LA27), Second AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean

¹³ MARENGO, J.A.: “Impactos das condições climáticas e da variabilidade e mudanças do clima sobre a produção e os preços agrícolas: ondas de frio e seu impacto sobre a cafeicultura nas regiões Sul e Sudeste do Brasil”, in: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Eds.): *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*, Jaguariúna, SP, EMBRAPA Meio Ambiente, 2001, pp. 97-123

¹⁴ PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR.; BRUNINI, O.: “O aquecimento global e a agricultura”, Revista Eletrônica do Jornalismo Científico, COM-CIENCIA - SBPC, vol. 35, 2002, pp. 1-6

Considerando a possibilidade de maior frequência e maior severidade de extremos de precipitação e temperatura, efeitos importantes para a agricultura seriam, por exemplo, a maior erosão de solos (precipitações mais intensas), efeitos de granizo e de ventos de alta velocidade e turbulência.

4.4 Emissões de gases de efeito estufa no Brasil

O Brasil apresentou no final de 2004 a sua comunicação nacional inicial à convenção-quadro da ONU sobre mudança do clima, como previsto. Na primeira parte são apresentados um panorama do país, suas prioridades e sua complexidade. A segunda parte traz o primeiro inventário nacional sobre emissões de gases de efeito estufa, para o período 1990-1994. A terceira parte apresenta algumas providências já tomadas no país no sentido de redução das emissões.

São ressaltadas algumas dificuldades de metodologia nos cálculos, em grande parte originadas pelo fato da metodologia do IPCC ser baseada na experiência de países desenvolvidos, nos quais a maior parte das emissões vem do uso de combustíveis fósseis; no Brasil, a mudança no uso da terra e florestas é mais relevante. Isto exigiu um ajuste na metodologia proposta. Diversas iniciativas no país, notadamente na área de “energia renovável” e em particular com o etanol de cana-de-açúcar, são listadas na parte final. Embora o “estado da arte” da implementação da Convenção no Brasil fosse espelhado no relatório até o ano 2000, várias informações até 2002 foram acrescentadas.

Alguns resultados do inventário nacional de gases de efeito estufa estão na **Tabela 1**; embora o inventário inclua outros gases (HFC, PFC, SF₆, e os de efeito indireto: CO, NOx, NMVOCs), listamos apenas os mais importantes: CO₂, CH₄ e N₂O.

Tabela 1: Estimativas das emissões de GEE no Brasil, 1994

Setores	Energia (Mt)	Indústria (Mt)	Agropecuária (Mt)	Mudança no uso da terra e florestas (Mt)	Tratamento de resíduos (Mt)	Total (Mt)	Variação 1994/90 (%)
Gases							
CO ₂	237	17	-	776	-	1.030	5
CH ₄	0,4	-	10,1	1,8	0,8	13,2	7
N ₂ O	-	-	0,5	-	-	0,5	12

Fonte: “Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima”, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2004

Portanto, em 1994 as emissões de CO₂ foram lideradas por mudanças no uso da terra e florestas (75%) e energia, com apenas 23%. As emissões de metano foram principalmente da agropecuária (77%, a maior parte de fermentação entérica de ruminantes), que também respondeu por 92% das emissões de N₂O. Lembremos que o “poder de aquecimento global” do metano é 29 vezes o do CO₂, e o do N₂O é 296 vezes o do CO₂.

Os números acima são uma referência para comparação com as emissões de GEE na produção e processamento da cana-de-açúcar e com as emissões evitadas pelo uso do etanol e bagaço como combustíveis, quantificadas no item a seguir.

4.5 Emissões de GEE do setor de açúcar e etanol no Brasil: valores atuais e esperados

Isaias de Carvalho Macedo
NIPE / UNICAMP

Os produtos energéticos da cana, etanol e bagaço têm contribuído largamente para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, através da substituição de combustíveis fósseis, ou seja, gasolina e óleo combustível. O uso do bagaço, além de fornecer energia (térmica e elétrica) para a produção de etanol, ocorre também na produção de açúcar (substituindo o combustível fóssil que seria usado na produção alternativa de açúcar de beterraba, ou de amido) e em outros setores industriais (como o processamento de laranja).

No plantio, colheita, transporte e processamento da cana são consumidos combustíveis fósseis que geram emissões de GEE; também há processos não relacionados com o uso de combustíveis que geram emissões não compensadas por reabsorção pela fotossíntese no crescimento da cana (gases não CO₂ na queima da palha, decomposição de fertilizantes etc). O balanço completo de energia e emissões (no ciclo de vida) para se avaliarem os resultados líquidos na produção do álcool de cana-de-açúcar e no seu uso como combustível no setor de transportes tem sido realizado no Brasil e foi recentemente atualizado.¹⁵

A análise de energia está resumida no item 1.4.1, resultando em uma relação média entre a produção de energia renovável e o consumo de energia fóssil de 8,3. Para comparação, a relação de energias no caso do etanol de milho nos EUA em 2002 era avaliada em 1,34.

¹⁵ MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.: “Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso de etanol no Brasil: situação atual (2002)”, SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo, 2004

Para os gases de efeito estufa, as emissões devidas ao uso de energia fóssil foram avaliadas em 19,2 kg CO₂eq. / t cana (média) e as emissões de outras fontes (gases não CO₂ na queima da palha, decomposição de fertilizantes etc.), em 12,6 kg CO₂eq. / t cana. Como resultado líquido, as emissões evitadas pela substituição da gasolina pelo etanol e óleo combustível pelo bagaço excedente subtraídas dos valores acima são 2,6 t CO₂eq. / m³ de etanol anidro e 1,7 CO₂eq. / m³ de etanol hidratado, para os valores médios. Para as usinas com o melhor desempenho, os valores podem ser cerca de 4% maiores. Estes valores consideram o anidro em mistura (até 24%) e o hidratado em carros E100.

Esses resultados são muito relevantes. Nessas condições, que refletem a situação atual no Brasil, a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar é muito superior a qualquer outra tecnologia para produzir combustível de biomassa no mundo, pela relação (energia renovável obtida / energia fóssil usada) e pelo altíssimo coeficiente de redução nas emissões de GEE. Para o consumo brasileiro de etanol em 2003 – 11,6 milhões de m³ por ano (com 6,1 Mm³ hidratado) –, o etanol foi responsável pela redução de cerca de 27,5 milhões t CO₂ equivalente.

Emissões de GEE na produção de açúcar de beterraba (energia baseada em carvão ou GN) são muito maiores que na produção de açúcar de cana. Apesar desta diferença não poder ser usada, por exemplo, em projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), devido às definições de linhas de base, ela deve ser sempre ressaltada. Atualmente o processamento da beterraba usa menos energia (em média) que o processamento da cana (a disponibilidade do bagaço tornou as usinas de açúcar menos eficientes, energeticamente). Usinas modernas para açúcar de beterraba operam em média hoje com cerca de 1,1 Gcal / t açúcar; usando gás natural a emissão de CO₂ seria de 0,26 t CO₂ / t açúcar. Este é um resultado conservador. Comparando com as emissões de usinas de açúcar com base em beterraba, as usinas brasileiras evitaram a emissão de 5,7 Mt (CO₂ eq) em 2003.

Uma análise sobre a situação esperada quanto a emissões para os próximos anos¹⁶ considera:

- O aumento da mecanização da colheita de cana (aumentando o consumo de combustível fóssil) e a redução da queima da cana (reduzindo algumas emissões de metano e óxido nitroso)
- Equivalências entre etanol e gasolina nos diversos usos modificadas para abranger as novas composições com o uso de motores flex-fuel
- Produção futura (2010-): 34 Mt açúcar; 17,3 Mm³ etanol (11,2 Mm³ hidratado); 535 Mt cana / safra

Com estas hipóteses, as emissões evitadas com o uso do etanol seriam (possivelmente em 2010) de 46,7 Mt CO₂ eq. Portanto, redução adicional de emissões em função do uso do etanol seria de 19,2 Mt CO₂ eq.

O aumento na produção de açúcar em relação a 2003 levaria a uma redução adicional de emissões de 3,2 Mt CO₂ eq.

Por outro lado, as usinas brasileiras são essencialmente autônomas em energia elétrica, mesmo considerando a compra na entressafra (há venda de energia na safra, em pequena escala). Para o aumento da produção de cana nos próximos anos, considerando que 50% em média seja realizado com a introdução de sistemas C-E (comerciais) de geração a alta pressão, com redução do consumo específico de vapor nos processos em 20% (sobre o valor hoje), e com utilização de 10% da palha, seriam atingidos excedentes de ~75 kWh / t cana; a energia excedente total seria (para apenas metade das 217 Mt cana adicionais) de 8.140 GWh.

Se esta energia fosse substituir centrais térmicas a gás natural (critério não aceito para o MDL; seria necessário usar o mix de energia), teríamos para as emissões evitadas de 440 a 500 kg (CO₂ eq) / MWh. A geração adicional levaria a evitar a emissão de 4,1 Mt (CO₂ eq), em relação à geração termo-elétrica a gás natural.

Resumindo: cada aumento de 100 Mt cana / safra, nas condições acima, poderia levar a reduções adicionais de emissões de GEE equivalentes a :

9,1 Mt CO ₂ eq	(pelo uso do etanol)
2,0 Mt CO ₂ eq	(energia elétrica adicional, em 50% dos casos)
1,5 Mt CO ₂ eq	(açúcar de cana, com relação ao de beterraba)

4.6 Resumo e conclusões

- O aumento de 30% na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera desde a era pré-industrial corresponde a um aumento médio de 0,6 °C da temperatura na superfície do planeta; no século XXI a temperatura média poderá aumentar mais 3 °C se não for alterada a tendência atual. O Protocolo de Kyoto é um passo na direção (cada vez mais consensual) de evitar aumento de até 2 °C em 2050.
- Os modelos climáticos globais, ainda em evolução, indicam sempre aumentos de temperatura para o Brasil; mas a incerteza quanto ao regime de chuvas é grande. Os modelos indicam aumentos de temperaturas de 1 a 4 °C (cenário de baixas emissões) ou de 2 a 6 °C (altas emissões). Não

16 MACEDO, I.C.: “Estimativa da redução adicional de emissões de gases de efeito estufa (GEE) com o aumento da produção de cana e derivados no Brasil; 2010”, Relatório Interno, UNICA, São Paulo, 2004

há concordância nos resultados para chuvas, mas espera-se maior ocorrência de extremos climáticos (secas, tempestades severas).

- Nos modelos que indicam maior quantidade de chuvas (GFDL, EUA) haveria expansão do cerrado para o Nordeste; nos demais cenários (por exemplo, HADCM3, Inglaterra) ocorreria a extensão do cerrado para partes da Amazônia, e desertificação da caatinga no Nordeste.
- A avaliação da vulnerabilidade do setor agrícola deve considerar os efeitos simultâneos da temperatura (e chuvas) e da “fertilização” por maior concentração de CO₂. Há poucos estudos para o Brasil, voltados para café e trigo em regiões específicas.
- A avaliação das emissões de GEE pelo Brasil para o período 1990-94 indica como setor com maior emissão o de *mudança no uso da terra e florestas* (75%), ficando a *energia* com 23%.
- No setor de cana-de-açúcar, a relação entre a energia renovável produzida e a energia fóssil usada é de 8,3, na produção de etanol. A consequência é um extraordinário desempenho do setor, evitando emissões de GEE equivalentes a 13% das emissões de todo o setor de energia no Brasil (base 1994).

Emissões evitadas em 2003:	
Com etanol substituindo gasolina:	27,5 Mt CO ₂ eq
Bagaço na produção de açúcar:	5,7 Mt CO ₂ eq

- Para cada 100 Mt cana adicionais, nos próximos anos, poderiam ser evitadas emissões de 12,6 Mt CO₂ eq, com etanol, bagaço e com a energia elétrica excedente adicional.