

AGROPECUÁRIA BRASILEIRA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA, OPORTUNIDADES E DESAFIOS¹

Magda Aparecida de Lima²

RESUMO

Recentes estudos mostram a ocorrência de um aumento na concentração de dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, óxido nitroso, óxidos de nitrogênio e ozônio na atmosfera. A esse acréscimo de gases, originados por fontes antrópicas, atribui-se a responsabilidade pelo aquecimento adicional da superfície terrestre (efeito estufa de origem antrópico). Este artigo aborda o problema da mudança do clima que afeta o setor agropecuário, e da contribuição da agricultura ao efeito estufa, identificando as opções de mitigação das emissões causadas por atividades agrícolas e as oportunidades associadas a elas. Desafios para a pesquisa e desenvolvimento são descritos, considerando o atual estado da arte sobre o tema no País.

Palavras-chave: gases de efeito estufa, agricultura, pecuária, estocagem de carbono, climatologia.

BRAZILIAN AGRICULTURE AND THE GLOBAL CLIMATE CHANGE: CHARACTERIZATION OF THE PROBLEM, OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

ABSTRACT

Recent studies have shown an increase of the concentrations of carbon dioxide, methane, carbon monoxide, nitrous oxide, nitrogen oxides and ozone in the atmosphere. To this increment of gases, originated by anthropogenic sources, it is assigned the responsibility for the additional warming of the earth surface (*greenhouse gas effect*). This paper deals with the problematic concerned with the climate change and its impact on agricultural sector and also with the contribution of the agricultural activities to the increase of greenhouse gases, identifying the options for mitigation as well as the opportunities related to them. Challenges for the research and development are pointed out.

Key-words: greenhouse gas, agriculture, livestock, carbon storage, climatology.

INTRODUÇÃO

A entrada de radiação solar na superfície terrestre acontece na forma de comprimentos de onda curta. Após receber uma certa quantidade dessa radia-

¹ Aceito para publicação em abril de 2002.

² Ecóloga, Dra. em Geociências, Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP-340, Km 127,5, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP. E-mail: magda@cnpma.embrapa.br

ção, as superfícies re-irradiam uma parte da energia, na forma de calor, de volta para a atmosfera em comprimentos de onda na região do infravermelho. Essa energia é aprisionada por alguns constituintes químicos da atmosfera e pelas nuvens, o que leva a um aquecimento da atmosfera acima da superfície da terra. Esse efeito estufa natural tem mantido a atmosfera da Terra por volta de 30°C mais quente do que ela seria na ausência dele, possibilitando a existência de vida no Planeta.

Entretanto, aumentos recentes nas concentrações de gases traço na atmosfera, devido à atividade antrópica, em grande parte associada a países mais desenvolvidos, têm causado impacto no balanço de radiação solar do Planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da terra.

Estima-se que, se a taxa atual de aumento de gases de efeito estufa continuar pelo próximo século no Planeta, as temperaturas médias globais subirão 0,3°C por década, com uma incerteza de 0,2°C a 0,5°C por década (Cotton & Pielke, 1995). No ano 2050, o aquecimento global seria estimado em 1.5°C (European Comissão, 1997), e no ano de 2100, estaria compreendido na faixa de 1,0 a 3,5°C.

Ainda que pesem incertezas sobre a dimensão desse fenômeno, para as quais ainda deverão ser dirigidos muitos estudos com modelagem e análise de dados, existem cada vez mais evidências sobre a influência das emissões de gases de efeito estufa por atividades antrópicas, sobre o clima global. Mostra-se, pois, imperativa a necessidade de se avaliar os possíveis impactos da mudança climática sobre as atividades humanas e recursos naturais e, particularmente, sobre a agropecuária.

Por outro lado, a agricultura também contribui para as emissões antrópicas de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) e óxidos de nitrogênio (NO_x), importantes gases de efeito estufa. Estima-se que 20% do aumento do poder radioativo global é atribuído ao setor agrícola (IPCC, 1996a, Chapter 23: Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions, p. 748).

Este artigo aborda o problema da mudança do clima que afeta o setor agropecuário, e da contribuição da agricultura ao efeito estufa, ao mesmo tempo identificando as opções de mitigação das emissões causadas por atividades agrícolas e as oportunidades associadas a elas. Desafios para a pesquisa e políticas públicas são também apontados no atual contexto sobre a temática no País.

VULNERABILIDADE DA AGROPECUÁRIA À MUDANÇA DO CLIMA

A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar. Os principais efeitos das alterações desses fatores sobre a agricultura certamente incidiriam na produtividade e no manejo das culturas, como irrigação, controle de pragas e doenças, etc., bem como nos sistemas sociais e econômicos.

Em âmbito global, diversos estudos têm sido conduzidos para estimar os possíveis impactos da mudança do clima sobre as produções de culturas agrícolas baseados em modelos de circulação geral (GCM) (Rosenzweig & Parry, 1994, citados por Jones et al., 1987). Esses estudos mostram, por exemplo, que a produção em áreas tropicais e subtropicais, principalmente na África subsaariana devido às grandes áreas de clima árido e semi-árido e sua dependência da agricultura, seria mais afetada do que em regiões temperadas (Jones et al., 1987; CGIAR, 1998).

Usando modelos de circulação geral (Global Circulation Model – CGM), como o Goddard Institute of Space Sciences – GISS –, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – GFDL – e United Kingdom Meteorological Office – UKMO. Siqueira et al. (1994) apresentam projeções sobre os efeitos potenciais da mudança climática global na agricultura brasileira, tomando como referência 13 diferentes locais do País e as culturas de trigo, milho e soja. O impacto na produção de grãos seria relativamente grande, de forma a serem previstas reduções na produção de trigo e de milho. Entretanto, a produção nacional da cultura da soja apresentaria aumento. A Região Nordeste seria especialmente vulnerável aos decréscimos de produções de milho e as Regiões Central e Centro-Sul às reduções na produção de trigo. A Região Sul seria vulnerável às reduções de trigo e de milho e a Região Norte às reduções de milho.

Sob um outro enfoque, Alves & Evenson (1996) e Sanghi et al. (1997) estimaram o impacto da mudança climática global na agricultura brasileira usando um modelo “ricardiano”. O modelo consiste em avaliar a influência de variáveis como produção, trabalho, fertilizantes, construções, estradas, pesquisa científica, adoção de tecnologia, extensão rural, e de variáveis climáticas como temperatura, pluviosidade, radiação solar, etc., e edáficas como tipo de solo, declividade, textura, etc., sobre a produtividade da terra, e por consequin-

te, sobre o preço desta. A partir disso, seria possível estimar os impactos de adaptações dos produtores às alterações climáticas sobre a produção e a produtividade de estabelecimentos agrícolas. Segundo os autores, o impacto líquido da mudança do clima seria negativo para a agricultura brasileira, sobretudo para a Região Centro-Oeste, onde predominam os cerrados, enquanto a Região Sul seria moderadamente beneficiada pelo aquecimento.

Mendelsohn (1996), usando vários cenários climáticos e projeções a partir de um modelo de circulação global (GCM), estima que o impacto da mudança do clima global na economia brasileira seria significativo, com grandes danos nos setores de agricultura, florestas e energia.

CONTRIBUIÇÃO DA AGROPECUÁRIA PARA O EFEITO ESTUFA

Ao mesmo tempo em que a agropecuária constitui-se em uma atividade potencialmente influenciada pela mudança do clima, contribui também para o efeito estufa. Emissões de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x), que causam o aquecimento global têm sido gerados por diferentes práticas agropecuárias.

A produção de metano ocorre em condições anaeróbicas associadas com a fermentação entérica em ruminantes, lavouras de arroz inundado e tratamento anaeróbico de resíduos animais. O metano também é produzido durante a queima de biomassa (florestas, resíduos agrícolas, etc.). Seu principal sumidouro é a oxidação com radicais hidroxila (OH^\cdot na troposfera (o “detergente da atmosfera”, segundo Crutzen, 1995), além de solos aeróbios que absorvem de 10% a 20% das emissões de carbono (Reeburgh et al., 1993).

O monóxido de carbono e o dióxido de carbono são produzidos na queima de biomassa (resíduos agrícolas, pastagens, cerrados e florestas). O fogo libera carbono da biomassa durante a combustão e acentua diretamente a liberação de carbono do solo, do qual a vegetação foi queimada. Efeitos indiretos do fogo podem levar a emissões de óxido nitroso, óxidos de nitrogênio e metano. Além disso, o solo exposto tende a acelerar a erosão e possivelmente leva a um aumento da taxa de mineralização do reservatório de carbono orgânico.

A estocagem de carbono nos solos é uma função do balanço de carbono, cujas entradas ocorrem na forma de resíduos vegetais ou fertilizantes orgânicos. Por outro lado, as liberações de carbono são decorrentes da mineralização de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo e ocorrem na forma de CO_2 . Em condições anaeróbicas de solo, essas liberações de carbono ocorrem como metano. Todas as opções de manejo que aumentam as entradas de matéria orgânica nos solos e que diminuem a mineralização da matéria orgânica promovem o acúmulo de carbono nos solos (Sadowsky et al., 1996). A preservação de turfeiras, segundo Sadowsky et al. (1996), poderia conservar, por unidade de área, quantidades significativas de carbono, maiores até do que em projetos florestais.

O óxido nitroso (N_2O) provém, principalmente, do uso de fertilizantes nitrogenados, da fixação biológica de nitrogênio, da mineralização da matéria orgânica adicionada, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos, da lixiviação de solos e da queima de resíduos agrícolas. As emissões de N_2O a partir dos solos ocorrem como consequência do processo microbiológico de desnitrificação a partir de nitrogênio mineral. Estudos recentes demonstram que a concentração atmosférica desse gás tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas e continua a aumentar anualmente a uma taxa de 0,25% (Kaiser et al., 1998).

Estima-se que a emissão antrópica global de N_2O seja de 3,7 a 7,7 Tg N/ano, com uma média provável estimada em 5,7 Tg N/ano (IPCC, 1995, Chapter 2: Other trace gases and atmospheric chemistry, p. 90). Só a agricultura estaria contribuindo com cerca de 75% das emissões desse gás para a atmosfera.

OPÇÕES PARA A REDUÇÃO DO IMPACTO DA AGROPECUÁRIA SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Campos inundados de arroz

O arroz irrigado por inundação é cultivado em cerca de 151 milhões de hectares em âmbito global, sendo que mais de 90% dessa área encontra-se no continente asiático (FAO, 2001). A cultura do arroz irrigado é considerada uma importante fonte de metano atmosférico, correspondendo a 16% das emissões antrópicas globais de metano. O fluxo de metano proveniente de campos de

arroz inundado é estimado em 60 (20-100) Tg (IPCC, 1996a, Chapter 23: Agricultural Options for mitigation of greenhouse gas emissions, p. 760), de um total de metano liberado de cerca de 375 (300-450) Tg/ano, proveniente de todas as fontes antrópicas (IPCC, 1995, Chapter 2: Other trace gases and atmospheric chemistry, p. 86).

A produção de metano ocorre sob condições altamente redutoras, e, portanto, o regime de inundação intermitente, condicionado às precipitações pluviométricas, ou de múltipla aeração deve promover a redução das emissões de metano. No Brasil, a mudança de regime de inundação contínuo para intermitente resultaria em uma redução de 54% no total das emissões de metano proveniente de arroz irrigado. Contudo, limitações de ordem econômica, que atualmente já são verificadas na produção de arroz no País, dado ao aumento de custos de insumos e à diminuição de subsídios do governo, implicariam a adoção de incentivos econômicos aos produtores.

Estudos para a quantificação dos fluxos de metano em culturas de arroz irrigado não são ainda disponíveis no País, de modo a permitir a avaliação precisa dos principais fatores de emissão sob diferentes condições regionais e climáticas. As estimativas de emissões de metano por essa fonte no País guardam uma significativa incerteza, aliada a problemas de fontes censitárias disponíveis.

Entre as medidas de redução das emissões de metano provenientes do cultivo de arroz irrigado por inundação relatadas na literatura (Enquete Comissão, 1995; Minami & Neue, 1994), assinalam-se:

- a) Melhoramento vegetal – Desenvolvimento de novas cultivares, seleção e geração de plantas de arroz com baixas taxas de emissões de metano. Segundo Minami & Neue (1994), variações no coeficiente de difusão na transição da raiz para o aerênquima parece desempenhar um importante papel nas diferenças de emissão de metano entre as variedades de arroz. Para isso, pesquisas com esse objetivo devem ser fomentadas no Brasil.
- b) Melhoramento do manejo de água, com vistas à redução do tempo de inundação do solo – Restrições econômicas para a implementação des-

sa medida são esperadas, devido aos investimentos necessários em sistemas de irrigação, observados os aspectos do item seguinte.

- c) Aceleração da decomposição de metano através da oxidação por breves interrupções da inundação – O aumento da drenagem de água (troca da lâmina d'água) e a secagem do solo intermitentemente ou no fim da estação de crescimento resulta na oxidação do metano retido no solo. Observa-se, contudo, que grandes quantidades desse metano escapa para a atmosfera durante a fase de secagem inicial (Minami & Neue, 1994). Sabe-se também que a aeração do solo favorece a formação de N_2O . Cai et al. (1997) observaram aumentos significativos da emissão de N_2O , em campos de arroz inundado sob regime intermitente de água, com o aumento da taxa de aplicação de nitrogênio, sobretudo na forma de sulfato de amônio. Esses autores comentam os resultados obtidos por Smith & Patrick (1983), mostrando que ciclos alternativos de anaerobiose e aerobiose, que favoreceriam de um lado a redução das emissões de metano, aumentavam a emissão de N_2O , quando comparado às condições de anaerobiose ou aerobiose permanentes. Estudos empíricos mais conclusivos devem ser conduzidos para estabelecer a melhor prática de manejo de água, para as condições do País.
- d) Modificação do manejo de fertilização – Optar pela adição de material orgânico compostado, em que a matéria orgânica facilmente mineralizável encontra-se já decomposta e humificada, fornecendo menos substrato para as bactérias metanogênicas.

Queima de biomassa na agricultura

A combustão da biomassa (resíduos de colheita, culturas agrícolas na pré-colheita, cerrados e pastagens), como prática agrícola, leva à produção de metano, óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrogênio (NO_x) e ozônio (O_3). No Brasil é freqüente a queima de cana-de-açúcar na pré-colheita, para auxiliar a colheita manual, e, em menor escala, dos resíduos culturais do algodão, para fins de controle fitossanitário. Embora ocorra liberação de CO_2 durante a queima da cana-de-açúcar, as emissões desse gás não são consideradas como uma emissão líquida ao longo do tempo, pois, no ciclo seguinte da cultura, o CO_2 emitido é reabsorvido (IPCC, 1996b, Chapter 4, Section 4.4.1).

As estimativas globais de emissão dos gases associados à queima de biomassa, segundo o IPCC (1995, Chapter 2: Other trace gases and atmospheric chemistry), são de 0,8 (0,3 - 1,6) Tg de N_2O /ano; 26,3 Tg de NO_x /ano; 40 (20 - 80) Tg de CH_4 /ano e (300 - 700) Tg de CO /ano. As estimativas das emissões antrópicas de N_2O encontram-se entre 5,8 - 12,1 Tg/ano, de NO_x em 52,4 Tg/ano, de CH_4 em 375 (300-450) Tg de CH_4 /ano e de CO na faixa de 1.800-2700 Tg/ano.

No Brasil estima-se que a queima de cana-de-açúcar e de resíduos de algodão juntos geram emissões de 2,79 Tg de CO , 0,13 Tg de CH_4 , 0,006 Tg de N_2O e 0,24 Tg de NO_x (Embrapa, 1999a).

As opções de mitigação para as emissões de carbono a partir da queima de biomassa estão em parte associadas à redução das emissões a partir de fontes atuais de gases e em parte ao aumento das alternativas de sequestro de carbono. Sob o primeiro aspecto, há que se considerar os cenários de diminuição da prática de queima de resíduos agrícolas no País e de incremento do uso da biomassa como fonte de energia renovável. A substituição de combustível fóssil por biogás em diversas operações agrícolas representa uma opção adicional para a mitigação de CO_2 no País.

No Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, a queima da cana-de-açúcar tem gerado intensos debates desde a década de 80, devido a fatores associados à saúde, emprego e bem-estar públicos, levando à elaboração do Decreto n. 42.056, de 06.08.1997, através do qual se determina a substituição gradual da queima de canaviais no Estado, principal produtor brasileiro. A adoção de colheita mecanizada, situação em que a queima é considerada proibida, foi estimada em 1996 em aproximadamente 5% da área total plantada no Brasil, concentrando-se no Estado de São Paulo, sobretudo na região de Ribeirão Preto (Silva, 1997).

Para a Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo – Copersucar, a redução na queima de cana antes da colheita e a maior eficiência na produção de energia exercem significativos impactos na emissão líquida de CO_2 . A Copersucar avalia que a maior parte das emissões de gases evitadas na atividade sucro-alcooleira decorre do uso do etanol, em substituição a gasolina. Para a indústria do açúcar, o efeito vem do uso de bagaço como combustível. De acordo com uma análise efetuada por essa Cooperativa, as emissões de CO_2 evitadas pela atividade, considerando o ciclo completo da

agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil, seriam da ordem de 206,8 kg de CO₂/tonelada de cana.

Na cultura do algodão herbáceo, a prática da queima dos resíduos, por questões de fitossanidade (controle de pragas como a lagarta-rosada, bicudo e doenças fúngicas), não vem sendo amplamente adotada. Além disso, a área total colhida e a produção em caroço de algodão herbáceo no Brasil vem diminuindo desde 1990. A tendência atual de substituição da queima dos resíduos da cultura pela mecanização do solo sinaliza em direção a uma progressiva redução das emissões de gases de efeito estufa por essa fonte.

Medidas potenciais para a redução das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil incluem:

- a) O corte mecânico de cana-de-açúcar e o aproveitamento energético da biomassa, com conseqüente diminuição de desperdícios de matéria vegetal e energia.
- b) A redução de queimadas de cana-de-açúcar.
- c) O uso de práticas agrícolas conservacionistas (por exemplo, incorporação ou manutenção de restos culturais ao solo).
- d) A aplicação e a implantação de legislação relacionada ao controle de queimadas nas Unidades da Federação.

Pecuária

Herbívoros ruminantes, como bovinos, ovinos, bubalinos e caprinos, através da fermentação entérica, um processo digestivo que ocorre no rúmen, produzem metano. As emissões globais desse gás geradas a partir dos processos entéricos são estimadas em 80 milhões de toneladas anuais, correspondendo a cerca de 22% das emissões totais de metano geradas por fontes antrópicas (U.S.EPA, 2000).

A produção de metano ocorre também a partir dos dejetos animais, principalmente quando manipulados na forma líquida, em condições de anaerobiose. As emissões globais de metano provenientes dessa fonte são estimadas em cerca de 25 milhões de toneladas por ano (IPCC, 1995, Chapter 2: Other trace gases and atmospheric chemistry, p. 86), correspondendo a 7% das emissões totais de metano.

No Brasil, do total das emissões de metano provenientes de atividades agrícolas, a pecuária contribui com cerca de 96%, com emissões estimadas em 9,7 Tg de CH₄, em 1994. Nesse ano, o Brasil possuía cerca de 158 milhões de cabeças de gado, 87% das quais eram de gado de corte e 13% de gado leiteiro. A maior parte desses animais pertencem a pequenos proprietários, que operam sistemas de produção extensivo e de baixo investimento de capital. O gado é alimentado com forragens geralmente pobres, com baixa qualidade nutricional, promovendo baixo crescimento, um lento desempenho reprodutivo e baixa produção de leite. Aumentos de produtos animais têm sido devidos ao aumento do número de animais e não da produtividade. A produtividade média anual de leite no País é de apenas 800 kg/vaca (dados de 1994). Apesar disso, em 1997, a produção de leite totalizou cerca de 20 bilhões de litros, fazendo do Brasil o sexto produtor mundial de leite (Bortoleto & Chabaribery, 1998).

As indicações de opções de mitigação de metano na atividade pecuária estão associadas ao aumento da produtividade animal, por meio de suplementação alimentar, controle de zoonoses e doenças, melhoramento genético, melhoramento das taxas de reprodução e de intervalos entre partos, etc.

As emissões de metano podem ser reduzidas por meio da melhoria da digestão fermentativa no rúmen. Esta pode ser obtida com dietas a base de uréia e de proteínas e do fornecimento de nutrientes vitais.

No Brasil, a maior parte das emissões de metano provém de áreas extensivas de pastagem, e a suplementação alimentar de gado a pasto com proteínas é freqüentemente um fator limitante para grande parte das propriedades rurais. Pastagens consorciadas a culturas ricas em proteínas podem vir a ser uma opção. Alternativas alimentares devem ser investigadas, em função dos recursos naturais, condições climáticas e estrutura socioeconômica específicas de cada região.

O melhoramento da eficiência dos processos microbianos visando a otimização da digestão de fibras no rúmen e síntese microbiana apresenta-se como uma outra estratégia para a redução das emissões de metano. Combinações, tratamentos e bioengenharia de alimentos são oportunidades a serem exploradas.

Outras possibilidades incluem o desenvolvimento de organismos que oxidam metano ou outros sumidouros de hidrogênio no rúmen, usando engenharia genética, para cujo propósito pesquisas devem ser orientadas.

Observa-se, no atual contexto de avanço de conhecimento, a necessidade de se desenvolver no país ações de pesquisa visando aperfeiçoar as informações sobre o potencial de emissão de metano pela pecuária, sob os diferentes sistemas de produção animal existentes.

Resíduos animais

A mitigação das emissões de metano provenientes de resíduos animais pode ser obtida com processos de recuperação de energia, através de digestores anaeróbicos (Solled & Santos, 1998), medida essa aplicável a sistemas de confinamento. Os biodigestores controlam a emissão de metano e outros gases, pois o processo se desenvolve em um meio fechado e com recuperação dos gases. Assim, mecanismos poderiam ser estudados quanto à implantação de projetos de aproveitamento do metano como fonte de energia a propriedades rurais que operam sistemas de confinamento. A disponibilidade de fontes mais comuns de energia (hidráulica principalmente) e a quantidade de metano gerada em sistemas de manejo de dejetos animais é pequena, devido à característica de pecuária extensiva no País, são algumas das razões para o não uso de biogás para a geração de energia em áreas rurais. No caso de suínos, esforços vêm sendo observados no intuito de controlar a descarga de efluentes nos corpos d'água, que constitui hoje um dos maiores problemas ambientais nos estados produtores, como Santa Catarina, através da implantação, em médio prazo, de esterqueiras e bioesterqueiras. Cerca de 20% desses resíduos são aplicados aos solos, gerando a formação de N_2O , e para isso, estudos que visem a formulação de dietas com melhor balanceamento de compostos nitrogenados devem ser estimulados.

Solos Agrícolas

A agricultura é a atividade humana que afeta a maior proporção da superfície terrestre. Sua expansão e intensificação são consideradas os principais contribuintes à redução de florestas e outros ecossistemas naturais. Essa atuação tem repercussões nos principais ciclos da matéria: o do carbono e do nitrogênio.

O uso intensivo das terras tem induzido grandes perdas de carbono dos solos e da cobertura vegetal. Além de gás carbônico, as emissões agrícolas de metano, monóxido de carbono e óxido nitroso provenientes de atividades agrí-

colas são importantes contribuintes à concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Os processos e práticas que afetam o balanço do carbono global são: desmatamento, erosão do solo, queima de biomassa, superpastoreio, mecanização do solo (aração, gradagem, etc.), depleção da fertilidade dos solos, entre outros. Em contraste, práticas agrícolas que recompõem o reservatório de carbono orgânico e restauram a capacidade dos solos como um sumidouro de carbono são: reflorestamento, práticas conservacionistas (como a manutenção da biomassa vegetal *in situ* após a colheita, plantio direto, período adequado de pousio e regeneração natural da vegetação); culturas perenes (culturas extrativistas, como seringueira, cacau, castanhas, fruticultura, etc.); uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, pastagens bem manejadas e agrofloresta.

Houghton & Skole (1990) estimaram perdas globais cumulativas de carbono provenientes de vegetação dos solos no período de 1850 a 1980, em 90 para 120 Pg. A atual perda líquida de carbono de plantas e solos é estimada em 0,2 Pg proveniente de regiões temperadas e cerca de 2 Pg provenientes de regiões tropicais. Segundo Houghton et al. (1987), citados por Salati (1994), cerca de 25% do carbono existente no metro superior do solo sob floresta tropical são perdidos na atmosfera se o solo for cultivado, enquanto 12% são perdidos quando a vegetação natural é convertida a pastagens ou áreas abandonadas pelo uso agrícola (Tabela 1). Feigl (1999) observou na Região Amazônica um

Tabela 1. Percentagem das reservas iniciais de carbono perdidas na atmosfera quando florestas tropicais são convertidas em diferentes tipos de uso da terra.

Uso da terra	Vegetação	Solo
	-----%-----	
Terra cultivada	90-100	25
Pastagens	90-100	12
Culturas degradadas (abandonadas) ou pastagens	60-90	12-25
Culturas rotativas	60	10
Florestas degradadas	25-50	<10
Derrubada	10-50	<10
Plantações de árvores	30-50	<10
Reservas extrativistas	0	0

Fonte: Houghton et al. (1987), citados por Salati (1994).

acúmulo crescente de C no solo, após 80 anos de conversão de floresta para pastagem, chegando a 2kg C/m².

Pesquisadores do Centro Internacional para Agricultura Tropical – CIAT–, em Cáli, Colômbia, e da Embrapa Agrobiologia, Itaguaí, Brasil, observaram que os capins africanos do gênero *Brachiaria* sp. têm capacidade de armazenar significantes quantidades de carbono nos solos, dado que a taxa de acúmulo de carbono derivado da decomposição de raízes mortas da gramínea é maior, com conseqüente redução da geração de gás carbônico. Boddey et al. (1999) indicam que, no Brasil, essas gramíneas ocupam mais de 80 milhões de hectares (Mha) (quase 10% do território nacional), sendo aproximadamente 40 Mha na Região do Cerrado, 20 Mha na Amazônia e pelo menos mais 20 Mha na Região da Mata Atlântica de São Paulo até o Maranhão. Em experimentos por eles conduzidos, verificou-se um aumento do conteúdo de carbono do solo com a implantação dessas gramíneas, sobretudo quando consorciadas a leguminosas da espécie *Stylosanthes guianensis*, apresentando um aumento de 20 para 30 toneladas de matéria seca por hectare por ano, em comparação com a gramínea plantada em monocultura. Esses autores indicam que com um manejo apropriado para a produção sustentável e lucrativa do gado de corte, a extensa área de pastagens de *Brachiaria* existente no País pode acumular uma apreciável quantidade de carbono nos solos.

Nas últimas décadas tem ocorrido um aumento significativo da atividade agrícola na Região do Cerrado brasileiro, com a conseqüente substituição da vegetação nativa por extensas áreas cultivadas, destinadas à produção agrícola e animal. Em trabalho realizado por pesquisadores da Embrapa Cerrados, sobre a influência do uso e manejo do solo na produção de CO₂ em diferentes agrossistemas na Região do Cerrado, verificou-se que as maiores produções de CO₂ ocorreram em áreas de pastagem, seguidas de áreas de cerrado, e finalmente seguidas por um grupo de áreas preparadas com arado de discos, aiveca e escafificador, um outro grupo constituído por áreas sob plantio direto e por fim área plantada com pínus. Por sua vez, o plantio direto e a pastagem estocam mais carbono do que os outros sistemas. O plantio direto estoca carbono em uma taxa de 1,4 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, considerando um período de 15 anos, e a pastagem a uma taxa de 0,9 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, considerando 18 anos (Corazza et al., 1998).

Por armazenar a matéria orgânica no solo, evitar a erosão dos solos, e assim evitar a liberação de gases para a atmosfera, o plantio direto pode repre-

sentar um importante fator de seqüestro de carbono no setor agrícola. Além disso, no sistema de plantio direto há uma considerável redução no consumo de energia direta – representada pelos combustíveis fósseis – e de energia contida nos insumos e equipamentos. Em análise comparativa entre o sistema de plantio direto e o sistema convencional de plantio de soja no cerrado, Moura Filho (1995) apurou uma economia no consumo de energia da ordem de 44% em relação ao plantio convencional (Tabela 2).

Tabela 2. Avaliação do consumo energético nos sistemas de produção de plantio direto e plantio convencional de soja na Região do Cerrado.

Categoria de consumo	Plantio convencional (joules)	Plantio direto (joules)	Saldo (joules)
Máquinas e equipamentos	1.665,70 x 10 ⁵	1.529,60 x 10 ⁵	+ 136,10 x 10 ⁵
Insumos	47.100,10 x 10 ⁵	46.200,10 x 10 ⁵	+ 900,00 x 10 ⁵
Combustíveis e lubrificantes	24.857,10 x 10 ⁵	3.176,10 x 10 ⁵	+ 21.681,00 x 10 ⁵
Total	73.622,80 x 10 ⁵	50.905,70 x 10 ⁵	+ 22.717,10 x 10 ⁵

Fonte: Moura Filho (1995).

Na Amazônia, a mudança do uso da terra é dominada em cerca de 90% pelas conversões de floresta para pastagens de gado. As florestas secundárias derivadas da agricultura (cultivo itinerante) crescem muito mais rápido do que as florestas em pastagens de gado abandonadas. Esse rápido crescimento de áreas de repouso após cultivo é responsável por parte do seqüestro de carbono atmosférico naquela região. Ainda existe muita incerteza sobre as taxas de crescimento de florestas secundárias, e isto tem dificultado o estabelecimento de valores de fixação de carbono atribuídos a essas comunidades vegetais. Segundo Fearnside & Guimarães (1996), em 1990 a taxa de emissões provenientes de deflorestamento e de clareiras na Região Amazônica excedeu em grande parte a fixação de carbono a partir do crescimento de florestas secundárias (que sofreram regeneração). As previsões mostram que se as taxas de deflorestamento da floresta amazônica continuarem a persistir, as emissões de gases a partir dessa atividade aumentarão, ainda que grandes áreas de florestas secundárias venham a substituir as florestas primárias. Estima-se que de 1978 a 1998 a média de desflorestamento anual da Região Amazônia seja de 1,7 milhões de hectares

(INPE, 2002). Estimativas oficiais das emissões de CO₂ geradas pelo desflorestamento, calculadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE –, ainda não se encontram disponíveis até a conclusão deste trabalho. Entretanto, Fearnside (2001) aponta emissões líquidas (fluxos líquidos) de 354 milhões de toneladas de carbono em 1990, decorrentes do desmatamento.

Sistemas agroflorestais são atividades que contribuem com a redução das emissões de gases de efeito estufa. Esses sistemas incluem atividades de extração de produtos florestais sem corte, como é o caso da borracha, castanhas, óleos essenciais e produtos medicinais, entre outros. Se tais sistemas, atualmente desenvolvidos por companhias privadas, comunidades de habitantes de floresta e reservas indígenas, tiverem como premissa o uso de práticas sustentáveis de manejo de florestas, pode-se prever que significantes quantidades de gases deixem de ser emitidos por atividades mais predatórias. Salati et al. (1999) citam dados sobre o potencial de seqüestro de carbono por diferentes alternativas de uso florestal da terra. Os reflorestamentos fixariam 10-14 toneladas de carbono por hectare em um prazo de rotação de 10 anos e sistemas agroflorestais fixariam 6-9 t/hectare em prazo de rotação de 40 anos.

Finalmente, a implantação de florestas (reflorestamentos) ou culturas permanentes em áreas degradadas por atividades agrícolas, além da recomposição vegetal de áreas ribeirinhas e de proteção ambiental (como as de risco à erosão, montantes de bacias de abastecimento, etc.) são oportunidades para seqüestrar carbono atmosférico, ao mesmo tempo que restauram outras propriedades ambientais e influi em indicadores econômicos. Programas de reflorestamento e recuperação de áreas de proteção ambiental vêm sendo implementados, em decorrência de estabelecimento de consórcios de bacias hidrográficas e de outras iniciativas governamentais e não governamentais para restauração de florestas, em diversos estados brasileiros, como São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Segundo Salati et al. (1999) as atividades de restauração/recomposição de florestas fixariam cerca de 8-12 toneladas de carbono por hectare, com um prazo de rotação superior a 100 anos.

Os reflorestamentos estocam carbono, e se mantidos intactos ou se seus produtos florestais forem usados em aplicações duráveis, a estocagem adicional de carbono poderia ser significativa. Leemans (1995) utilizando modelos de simulação para a avaliação de opções de mitigação do CO₂ atmosférico, inferiu

que os únicos aumentos possíveis na extensão de florestas estariam nas regiões desenvolvidas, e que na maioria das outras regiões, grandes partes das áreas potencialmente florestadas seriam usadas pela agricultura, e que ocorreria pouca melhoria do reflorestamento. Em uma escala menor, ele inferiu que haveria mais oportunidades de aumentar o crescimento de florestas, tais como o plantio de árvores em cinturões verdes e sistemas agroflorestais, os quais não podem ser representados nos modelos globais, de escala mais grosseira. Com o advento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, proposto pela Convenção de Quioto, esse cenário não encontra sustentação, em função de que um número cada vez maior de projetos visando a captura de carbono em países em desenvolvimento deverá levar ao aumento de áreas de reflorestamento ou de atividades afins no Brasil.

OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA GLOBAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), criada em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (também chamada de Cúpula da Terra), requer que todas as partes formulem e implementem programas para mitigar a mudança climática e facilitar a adaptação a esta com base em suas responsabilidades comuns e diferenciadas, levando-se em conta suas prioridades de desenvolvimento, objetivos e circunstâncias nacionais e regionais.

Na terceira Conferência das Partes³, realizada em Quioto, Japão, em 1997, criou-se um dos mais importantes instrumentos da política global sobre a mudança do clima, visando a redução das emissões globais de gases de efeito estufa – o Protocolo de Quioto.

Esse Protocolo estabelece, em seu artigo 3, compromissos para as Partes (países) incluídas no Anexo I da Convenção (listadas como Anexo B no Protocolo) de redução de pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 das emissões antrópicas combinadas de gases de efeito estufa para os períodos de 2008 a 2012. Ele entrará em vigor, de acordo com o seu artigo 25, no nonagésimo dia

³ A Conferência das Partes é o órgão supremo da Convenção, a quem compete a tomada de decisões para promover a sua efetiva implementação.

após a data na qual pelo menos 55 Partes da Convenção, englobando Partes incluídas no Anexo I que contabilizarem no total pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990 das Partes incluídas no Anexo I, tenham depositado seus instrumentos de ratificação, aceitação, aprovação ou adesão.

Mais recentemente, ao término da sétima Conferência das Partes (COP-7), ocorrida em Marrocos, Marrakesh, completou-se finalmente o regulamento para esse Protocolo, de forma que as condições políticas e técnicas ficassem definidas. Particularmente, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos três mecanismos de compensação (ou Mecanismos de Flexibilidade⁴) das reduções de emissões, aplica-se a países em desenvolvimento, como o Brasil. Para tal mecanismo foi criado um Órgão Executivo que orientará a implementação de projetos que atendam aos objetivos de implementação do Protocolo.

Nesse contexto, a adoção de medidas para a redução ou seqüestro de carbono atmosférico por atividades agrícolas encontra oportunidades notáveis no setor agropecuário, pelas próprias características levantadas nos ítems anteriores. Além disso, os benefícios da implantação de instrumentos políticos de redução de gases de efeito estufa (GEE) podem também se estender à outras ações destinadas à melhoria da qualidade ambiental (aumento de áreas plantadas, recuperação de áreas degradadas, redução de outros gases poluentes).

Para as atividades de pesquisa e de desenvolvimento, que de uma forma ou outra darão subsídio aos projetos de MDL, alguns desafios para o setor agropecuário incluem a identificação de sinergias entre os objetivos de aumento de produtividade e equilíbrio climático global; a promoção da produção de alimentos limpos e seguros para o consumo humano, com menor impacto ambiental sobre o clima e recursos naturais; e o manejo sustentável de agrossistemas florestais, pastoris e agrícolas. Ressalta-se aqui a importância do uso das boas práticas agrícolas para a manutenção da qualidade ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais.

A pesquisa e desenvolvimento na temática da agropecuária e mudança climática global tem ainda muitos desafios pela frente, principalmente no que se

⁴ Os três mecanismos de flexibilidade são: Implementação conjunta (Joint Implementation), Comércio de Emissões (Emissions Trading) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism).

refere à vulnerabilidade da agropecuária à mudança do clima, do ponto de vista agrônomo, econômico e ambiental; aos efeitos de aumentos de concentração de gases (CO_2 , O_3) em culturas e florestas; da adaptação de espécies vegetais e animais às doenças e pragas e efeitos do clima. Da mesma forma, há muito para ser feito sobre avaliação de fluxos de gases atmosféricos (CH_4 , CO_2 , N_2O , NO_x e CO) no sistema solo-planta-atmosfera de agrossistemas e em sistemas de produção animal, sobre o papel da conversão das terras no estoque e sequestro de carbono, nas diferentes ecorregiões do País; sobre as oportunidades de uso de biomassa vegetal e animal para uso energético, e conseqüente redução do uso de combustíveis. Além desses estudos, há muitas outras vertentes a serem descobertas e exploradas dentro da temática, e cuja prioridade de pesquisa estará se delineando em função da atual conjuntura global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vulnerabilidade do setor agropecuário aos efeitos da mudança global do clima tem sido um assunto pouco debatido e estudado no País, embora seja de grande interesse em vista da contribuição econômica do setor. Países de todos os continentes têm sido alertados quanto aos futuros cenários de mudança do clima e à necessidade de adaptação ao fenômeno de aquecimento global, ao mesmo tempo que têm sido demandados, e principalmente países desenvolvidos, a buscarem a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, mediante um esforço integrado entre países, e de acordo com a realidade social e econômica de cada país.

O advento de novos instrumentos da política global sobre o clima, como o MDL, deverá estimular o desenvolvimento de projetos no setor agropecuário, envolvendo a estocagem e o sequestro de carbono por ecossistemas agrícolas e florestais. Há, entretanto, uma série de desafios científicos e tecnológicos a enfrentar, para que se vislumbre a real combinação entre o desenvolvimento econômico e o equilíbrio climático global, especialmente em termos de países em desenvolvimento. Independentemente da existência desse instrumento e de sua aplicabilidade ao setor agropecuário, observa-se um momento oportuno para o Brasil investir em novos padrões de produção agropecuária, melhorando a eficiência produtiva e energética e ao mesmo tempo reduzindo os impactos ambientais, inclusive os sociais e econômicos, negativos.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. C. O; EVENSON, R. E. Global warming impacts on brazilian agriculture: estimates of the Ricardian Model. In: CONFERENCE ON ENVIRONMETRICS IN BRAZIL, 1996, São Paulo, SP. **Abstracts...** São Paulo: IME-USP, 1996. p. B30-B31.

BODDEY, R. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Potencial para acumulação e seqüestro de carbono em pastagens de Brachiaria. In: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1999, Campinas, SP. **Memória do workshop**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. p. 27 (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 4).

BORTOLETO, E. E.; CHABARIBERY, D. Leite e derivados: entraves e potencialidades na virada do século. **Infomações Econômicas**, v. 28, n. 9, 1998.

CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. **Plant and Soil**, v. 196, n. 1, p. 7-14, 1997.

CGIAR. **CGIAR Mid-Term Meeting 1998**: preliminar end-of-meeting report. [S.L.: s.n.], 1998.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E. de, RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p. 352-353.

COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. **Human impacts on weather and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288 p.

CRUTZEN, P. J. On the role of CH₄ in atmospheric chemistry: sources, sinks and possible reductions in anthropogenic sources. **Ambio**, v. 24, n. 1, 1995.

EMBRAPA. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**: emissões de metano provenientes de arroz irrigado por inundação (relatório revisado). Jaguariúna, 1998.

EMBRAPA. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**: emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas (relatório revisado). Jaguariúna, 1999a.

EMBRAPA. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**: emissões de metano provenientes da pecuária (relatório revisado). Jaguariúna, 1999b.

EMBRAPA. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil**: emissões de óxido nitroso provenientes de solos agrícolas (relatório revisado). Jaguariúna, 1999c.

ENQUETE COMMISSION. **Protecting our green earth**: how to manage global warming through environmentally sound farming and preservation of the world's forests. Bonn: Economica Verlag, 1995. 683 p.

EUROPEAN COMMISSION. **Climate change and agriculture in Europe - assessment of impacts and adaptations**: summary report. Luxembourg, 1997. 37 p. (EUR 17470 EN).

FAO, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: abril 2001.

FEARNSIDE, P. Efeitos do uso da terra e manejo florestal no ciclo de carbono na Amazônia Brasileira. In: FLEISCHFRESSER, V. (Ed.). **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.436 p.

FEARNSIDE, M. P.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, n. 1-3, p. 35-46, 1996.

FEIGL, B. O efeito da sucessão floresta/pastagem sobre o estoque de carbono e fluxo de gases em solos da Amazônia. In: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1999, Campinas, SP. **Memória do workshop**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. p. 38. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 4).

HOUGHTON, R. A.; BOONE, R. D.; FRUCI, J. R.; HOBBIE, J. E.; MELILLO, J. M.; PALM, C. A.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M.; MOORE, B.; SKOLE, D. L.; MYERS, N. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. In: TELLYS/39B. [S.L.: s.n.], 1987. p. 122-139.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L. Carbon. In: TURNER, B. L.; CLARK, W. C.; KATES, R. W.; RICHARDS, J. F.; MATHEWS, J. T.; MEYER, W. B. (Ed.). **The earth as transformed by human action**. Cambridge: University Press, 1990. p. 393-408.

INPE, 2002. Disponível em: <http://www.inpe.br/informacoes_Eventos/amz2000_2001/Pag-07.htm>. Acesso em: maio 2002.

IPCC. **Climate change 1994. Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 339 p.

IPCC. **Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis**. Cambridge: University Press, 1996a. 878 p.

IPCC. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reference manual**. Cambridge: University Press, 1996b.

IPCC. IPCC third assessment report: climate change 2001. Climate change: the scientific basis - contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/tar/wg1/128.htm>>. Acesso em: 2001.

JONES, J. W.; PICKERING, N. B.; ROSENZWEIG, C.; BOOTE, K. J. **Simulated impacts of global change on crops**. Gainesville: University of Florida, 1987. p. 411-434. (Technical Bulletin, 100).

KAISER, E. A.; KOHRS, K.; KUCHE, M.; SCHNUG, E.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J.C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of n-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 12, p. 1553-1563, 1998.

LEEMANS, R. Determining the global significance of local and regional mitigation strategies: setting the scene with global integrated assessment models. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 38, n. 2/3, p. 205-216. 1995.

MENDELSON, R. Estimating the market impacts of global warming in Brazil. In: CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL METRICS IN BRAZIL, 1996, São Paulo, SP. **Abstracts...** São Paulo: IME-USP, 1996. p. 63.

MINAMI, K.; NEUE, H.U. Rice paddies as a methane source. In: WHITE, D. H.; HOWDEN, S. M. (Ed.). Climate change: significance for agriculture and forestry. **Reprinted from Climate Change**, v. 27, n. 1, p. 13-26, 1994.

MOURA FILHO, N. G. **Avaliação da demanda energética no sistema de plantio convencional, comparada ao sistema de plantio direto na cultura de soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1995. 53 p. Monografia (Especialização em Planejamento Energético) – Departamento de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília.

REEBURGH, W. S.; WHALEN, S. C.; ALPERN, M. J. The role of methyloctrophy in the global methane budget. In: MICROBIAL GROWTH ON C₁ COMPOUNDS. [S.l.: s.n.], 1993. p. 1-14.

ROSENZWEIG, C; IGLESIAS, A. (Ed.). **Implications of climate change for international agriculture**: crop modeling study. Washington: EPA, 1994. (EPA 230-B-94-003).

SADOWSKI, M.; MEYERS, S.; MULLINS, F.; SATHAYE, J.; WISNIEWSKI, J. Methods for assessing greenhouse gas mitigation for countries with economies in transition: summary of workshop presentations and discussions. **Environmental Management**, v. 20, p. S3-S13, 1996. Supplement 1.

SALATI, E. **Emissão x sequestro de CO₂**: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 39-76.

SALATI, E.; AMARAL, W.; SANTOS, A. A. Investing in carbon storage: a review of brazilian forest projects. In: GOLDEMBERG, J.; REID, W. (Ed.). **Promoting development while limiting greenhouse gas emissions**. New York: UNPD, 1999. p. 101-114.

SANGUI, A.; ALVES, D. C.; EVENSON, R.; MENDELSON, R. Global warming impacts on brazilian agriculture: estimates of the ricardian model. **Economia Aplicada**, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.

SILVA, G. M. A. Cana crua x cana queimada: restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SECAPI, 2., 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Comissão Organizadora, 1997. p. 55-57.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulation studies for wheat, maize and soybeans. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

SOLLOD, A. E.; SANTOS, M. G. B. **Implementation strategy for reducing methane emissions from cattle in México**: a prefeasibility survey for the atmospheric pollution prevention division of the United States Environmental Protection Agency. [Fairfax]: ICF Kaiser Consulting Group, 1998.

U.S.EPA (WASHINGTON, DC). **Evaluation ruminant livestock efficiency projects and programs**: peer review draft. United States Environmental Protection Agency, 2000.