

GASES DO EFEITO ESTUFA E ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS: INVENTÁRIO DO BRASIL¹

Martial Bernoux²
Carlos C. Cerri³
Boris Volkoff⁴
Maria da Conceição S. Carvalho⁵
Christian Feller⁶
Carlos E. P. Cerri⁷
Vincent Eschenbrenner⁸
Marisa de C. Piccolo⁹
Brigitte Feigl¹⁰

RESUMO

Um dos principais desafios do século 21 será o aquecimento global e suas conseqüências, e as mudanças climáticas resultantes do aumento das concentrações

¹ Artigo originalmente publicado sob o título *Gaz à effet de serre et stockage du carbone par les sols: inventaire au niveau du Brésil*, no periódico *Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures*. Volume 14, Numéro 1, 96-100, janvier-février 2005, Interactions agriculture-environnement.

² Agrônomo, Doutor em Ciência, pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Laboratório Most, UR 179 SeqBio, 911 Avenue Agropolis, BP 6450, 34394 Montpellier Cedex 5, França. Martial.bernoux@mpl.ird.fr

³ Agrônomo, pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Universidade de São Paulo (USP), Av. Centenário, 303, Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba, SP, Brasil. cerri@cena.usp.br

⁴ Pedólogo, pesquisador aposentado do Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 3 rue Jean Monet, 94270 Le Kremlin Bicêtre, França. volkoff@ns.ird.fr

⁵ Agrônoma, pesquisadora da Embrapa Algodão, núcleo de Goiânia, Caixa Postal 714, 74001-970 Goiânia, GO, Brasil. maria.santana@embrapa.br

⁶ Pedólogo, pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement (IRD) BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar. feller@ird.mg

⁷ Agrônomo, Doutor em Ciências, Pós-Doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena/USP), Av. Centenário, 303, Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba, SP, Brasil. cepcerri@cena.usp.br

⁸ Pedólogo, Doutor em Ciência, pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Laboratório Most, UR 179 SeqBio, 911, Avenue Agropolis, BP 6450, 34394 Montpellier Cedex 5, França. eschenbr @mpl.ird.fr

⁹ Química, pesquisadora do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Universidade de São Paulo (USP), Av. Centenário, 303, Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba, SP, Brasil. mpiccolo@cena.usp.br

¹⁰ Bióloga, pesquisadora do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Universidade de São Paulo (USP), Av. Centenário, 303, Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba, SP, Brasil. beduardo@cena.usp.br

dos gases do efeito estufa na atmosfera. O Brasil ratificou a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (CQNUMC) – também conhecida pela sigla inglesa UNFCCC –, e deve, portanto, fornecer um inventário nacional dos gases do efeito estufa. Esse inventário deve registrar os fluxos de CO₂ para a categoria 5D, intitulada “emissão e seqüestro de CO₂ pelos solos em virtude das mudanças no uso da terra e seu manejo”. Esses fluxos são estimados a partir das mudanças nos estoques de carbono ao longo de um período de 20 anos. Para calcular os fluxos, é preciso conhecer os estoques de C nos solos do Brasil. Os resultados apresentados constituem uma primeira estimativa dos estoques de carbono antes e depois da ocupação humana. Antes da chegada dos europeus, os solos do Brasil estocavam 36.400 milhões de toneladas de carbono (Mt C) nos 30 cm superficiais. Em 1995, esse estoque estava reduzido a 34.400 Mt C. Entre 1990 e 2000, as perdas anuais decorrentes da mudança no uso da terra, do seu manejo e do uso da calagem foram, em média, de 7,2 Mt de carbono na forma de CO₂.

Termos para indexação: carbono, gases do efeito estufa, solo, uso da terra, agricultura.

GAZ À EFFECT DE SERRE ET STOCKAGE DU CARBONE PAR LES SOLS: INVENTAIRE AU NIVEAU DU BRÉSIL

RÉSUMÉ

L'un des défis majeurs de ce XXI^e siècle sera sans nul doute le réchauffement global et ses conséquences: ces changements climatiques dus à l'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre. Le Brésil a ratifié la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et doit donc fournir un inventaire annuel des gaz à effet de serre, qui doit comprendre les flux de CO₂ pour la catégorie 5D intitulée “Émissions ou séquestration de CO₂ par le sol dues au changement d'affectation des terres et à leur gestion”. Ces flux sont estimés à partir des changements des stocks de carbone au cours d'une période de 20 ans. Pour calculer ces flux, il est donc nécessaire d'établir les stocks de C dans les sols du Brésil. Ces travaux, menés en étroite coopération entre la France et le Brésil, ont permis l'obtention des premières estimations: le Brésil précolombien stockait 36400 millions de tonnes dans les 30 premiers centimètres des sols du Brésil; en 1995, ces stocks étaient réduits à 34.400 millions de tonnes. Entre 1990 et 2000, les pertes annuelles dues aux changements d'affectation des terres, à leur gestion et au chaulage totalisaient en moyenne 7,2 millions de tonnes de CO₂ par an.

Termes d'indexation: carbone, gaz à effet de serre, sols, usages des terres, agriculture.

GREENHOUSE GAS FLUXES AND CARBON STORAGE FROM SOIL:
THE BRAZILIAN INVENTORY

ABSTRACT

Rising levels of atmospheric CO₂ have focused attention on potential CO₂ emissions from terrestrial ecosystems of the world, notably from soils and biomass. The world's mineral soils represent a large reservoir of C of about 1500 Pg C. Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) each country is required to develop, update and publish a national inventories of anthropogenic emissions (implementation of the National Communications), as well as to compile the inventories by comparable methodologies. For the last point, guidelines were developed and published as IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Also, the land use, land-use changes and forestry (LULUCF) sector should be included in the national inventories. The CO₂ fluxes from soils are discussed in chapter 5 for agricultural soils under the category 5D: CO₂ emissions and removals from soils. These emissions are calculated from three subcategories: i) net changes in C storage in mineral soils; ii) emissions from organic soils; and iii) emissions from liming of agricultural soils. In a first step the soil organic carbon stocks up to a depth of 30 cm were estimated for Brazil based on a map of different soil-vegetation associations combined with results from a soil database. The soil-vegetation associations map was derived by intersecting soil and vegetation maps. The original soil and vegetation classification were reduced to 6 soil and 15 vegetation categories. Because this data represents sites with native vegetation in the absence of significant disturbances, it constitutes a valuable baseline for evaluating the effect of land-use change on soil C stocks for Brazil. Overall, about 36 400 million tons of carbon would be stored in the 0-30 cm soil layer under native conditions. The Brazilian Amazon region would account for 22,000 million tons. The CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil for the period 1975-1995 was estimated by Bernoux et al. who showed that the annual fluxes for Brazil indicate a net emission of CO₂ to the atmosphere of 46.4 million tons of CO₂ for the period 1975-1995. Intermediary calculation used to derive these annual fluxes estimated that 34 400 million tons of carbon were stored in the Brazilian soil for the year 1995. The annual CO₂ emission for Brazil from liming varied from 4.9 to 9.4 million tons of CO₂ per year with a mean annual CO₂ emission of about 7.2 million tons. The South, Southeast and Center region accounted for a least 92% of total emission. Finally it could be calculated that the total CO₂ fluxes from soils reached around 51.9 million tons of CO₂ per year for the period 1975-1995.

Index terms: carbon, greenhouse gas, soils, land-use, agriculture.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente de CO₂, CH₄, e N₂O, e o conseqüente aquecimento global, levou a comunidade científica a questionar-se sobre o papel dos solos como fonte ou sumidouro de carbono (C). Excluídas as rochas carbonatadas, os solos constituem o maior reservatório superficial de C –, aproximadamente 1.500 Gt C –, o equivalente a cerca de três vezes o estoque na biomassa continental e a duas vezes o da atmosfera. O estoque de carbono é fortemente dependente do modo de uso das terras e das práticas agrícolas. Qualquer modificação destas últimas pode conduzir a mudanças (diminuição ou aumento) importantes dos estoques de C nos horizontes superficiais do solo (ARROUAYS et al., 2002).

Essas variações ocorrem principalmente nas camadas entre 0 e 30 cm de profundidade, e são devidas, em escala de parcela, a processos como: modificações da quantidade e da qualidade das restituições orgânicas (JENKINSON et al., 1992), transferências (depósito, erosão, escoamento superficial, lixiviação) da matéria orgânica (MO) sob forma solúvel ou sólida (CHAN, 2001) e perdas por mineralização (CO₂, CH₄) da MO do solo (SCHIMEL, 1995). Para os solos tropicais, o conjunto dessas variações pode representar até 50% do estoque inicial nos 20 primeiros centímetros do solo (FELLER; BEARE, 1997). O homem pode, portanto, pela forma como maneja os solos, influir nos fluxos de C entre os ecossistemas continentais e a atmosfera, para um melhor controle dos fluxos dos GEEs.

O Protocolo de Montreal foi elaborado em reação à destruição da camada de ozônio pelos gases fluoroclorados (freons). Aberto à assinatura em 1987, ele foi ratificado e entrou em ação em 1989¹¹.

Para lutar contra as possíveis mudanças climáticas resultantes do aumento dos gases do efeito estufa, a comunidade internacional elaborou a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC). Essa convenção foi adotada pelas Nações Unidas em Nova Iorque, em 9 de maio de 1992, e aberta à assinatura em 4 de junho de 1992, no Rio de Janeiro, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente

¹¹ É necessário dizer que a assinatura de um tratado por um Estado expressa somente o interesse do Estado no tratado. É pela ratificação que o Estado se liga juridicamente ao tratado.

e o Desenvolvimento (a chamada “Cúpula da Terra”). Depois de ter sido ratificada por 150 Estados, a Convenção passou a vigorar, em 21 de março de 1994. Atualmente, 188 Estados ratificaram-na, isto é, todos os Estados à exceção do Principado de Andorra, de Brunei, do Iraque e da Somália. O objetivo primordial da Convenção é “a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático.” (Artigo 2). Vários princípios gerais são evocados, entre os quais o “princípio de equidade”¹² e o “princípio da precaução”¹³ (Artigo 3):

Trinta e cinco países desenvolvidos são designados no Anexo I da Convenção. São países desenvolvidos do Norte, além da Austrália e da Nova Zelândia; 24 dos quais, sendo os mais ricos, constituem o Anexo II da Convenção (não fazem parte: a Federação Russa, a Bielorrússia, a Ucrânia e os países do Leste Europeu). Os outros países (156) são chamados de “Não-Anexo I”.

Após 3 anos de negociações para a elaboração das regras de aplicação da Convenção, o Protocolo de Quioto foi adotado em 1997. O objetivo principal era delimitar quantitativamente as emissões dos gases do efeito estufa dos países do Anexo I. Por isso, quotas de emissões foram atribuídas a cada país do Anexo I. Essas quotas, chamadas de “compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões”, figuram no Anexo B do Protocolo de Quioto e se referem às emissões de 1990. Os objetivos devem ser atingidos durante o primeiro período de compromisso (ou seja, de 2008 a 2012). Se o protocolo fosse cumprido, a redução, em âmbito mundial, seria de 5,2% em relação ao ano base de 1990, para os países do Anexo B.

Para o Protocolo vigorar, impõem-se duas condições: a ratificação por 55 Partes da Convenção; e a adesão das Partes incluídas no Anexo I, que contabilizaram, no total, pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990.

¹² Princípio da Equidade: “As partes devem proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras da humanidade com base na equidade e em conformidade com suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas, e respectivas capacidades. Em decorrência, as partes – países desenvolvidos – devem tomar a iniciativa no combate à mudança do clima e a seus efeitos”.

¹³ Princípio da Precaução: “Quando surgirem ameaças de danos sérios ou irreversíveis, a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar essas medidas”.

Atualmente, 128 Estados já ratificaram o Protocolo. Assim, a primeira condição já foi preenchida. A segunda condição foi satisfeita no dia 18 de novembro de 2004, na ocasião da entrega, pelo representante permanente da Federação Russa, dos instrumentos da ratificação ao Secretário-Geral das Nações Unidas. A Federação Russa representa 17,4% das emissões dos países do Anexo B, que se juntam às 44,2% dos países do Anexo B, que já tinham ratificado o Protocolo. Essa ratificação se tornou indispensável a partir do momento em que os Estados Unidos (responsável por 36,1% das emissões dos países do Anexo B) decidiram, em 28 de março de 2001, a não ratificar o Protocolo de Quioto. O Protocolo de Quioto entrou em vigor 90 dias após a ratificação da Federação Russa, a contar do dia 16 de fevereiro de 2005.

No âmbito de suas obrigações para com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) – conhecida também pela sigla inglesa de UNFCCC, o Brasil, bem como as outras partes signatárias da Convenção, deve produzir periodicamente uma Comunicação Nacional respeitando as normas estabelecidas pela Conferência das Partes. A Comunicação Nacional deve fornecer o inventário anual dos gases do efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Para assegurar a homogeneidade dos relatórios de cada país, a CQNUMC convida as partes a usar uma metodologia-padrão. Assim, o Grupo Internacional de Especialistas do Clima (GIEC ou IPCC, em inglês) elaborou diretrizes e recomendações (*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC/UNEP/OECD/IEA 1997) sobre as metodologias a serem seguidas na elaboração desses inventários. Essas recomendações são divididas em seis módulos: “energia”, “procedimentos industriais”, “uso de solventes e outros produtos”, “agricultura”, “uso da terra, mudança do uso da terra” (UTMUT) e “dejetos”. Cada módulo é dividido em categorias. O módulo 5, UTMUT, também conhecido pela sigla inglesa de LULUCF (Land Use, Land Use Change, and Forestry), comporta a categoria intitulada “emissões e remoções de CO₂ pelos solos por mudanças de uso da terra e de manejo”. Essa categoria corresponde à 5D do formato oficial das restituições dos inventários, chamado de Common Reporting Format (CRF), exigido pela CQNUMC. Ao contrário dos fluxos líquidos de N₂O e CH₄ na atmosfera, que são inventariados diretamente pelo setor agrícola, os fluxos CO₂ para a categoria 5D são estimados a partir das mudanças no estoque de carbono resultantes do modo de uso e manejo da terra.

A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, por intermédio do Ministério da Ciência e Tecnologia, encarregou o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (Cena-USP) de fazer um primeiro inventário dos estoques de carbono nos solos do Brasil e suas emissões CO₂ para a categoria 5D. Essa meta foi alcançada graças à estreita colaboração entre a equipe do professor Cerri e os pesquisadores do IRD, no âmbito dos acordos de cooperação¹⁴ e das temáticas estudadas.

ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS DO BRASIL

Os estoques de carbono nos 30 cm superficiais do solo foram estimados a partir do mapeamento das diferentes associações solo-vegetação (BERNOUX et al., 2002). Esse mapa, na escala de 1:5.000.000, foi obtido sobrepondo o mapa simplificado dos solos (6 categorias de acordo com as recomendações do GIEC) ao mapa da vegetação nativa (15 categorias). O mapa das associações solo-vegetação é constituído de 21.111 polígonos divididos em 75 categorias. Um estoque de carbono representativo de cada associação foi calculado a partir de um base de dados que reúne as informações de 10.457 horizontes provenientes de 3.969 perfis de solo. Os estoques representativos variam entre 1,5 e 41,8 kg C. m⁻². No entanto, mais de três quartos da superfície das associações solo-vegetação têm um estoque representativo entre 3 e 6 kg C m⁻². Como esses valores são oriundos exclusivamente de perfis sob vegetação nativa, considera-se que o total

¹⁴ O Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (Cena-USP), que tem como campo temático as relações entre a bioquímica dos solos e o meio ambiente, mantém cooperação científica com o IRD da França, há mais de 20 anos, oficial, por intermédio do CNPq, e informal desde o início dos anos 70. Essa colaboração serviu de base para a defesa de 17 mestrados e 25 doutorados no Brasil, sendo a primeira tese em co-tutela entre uma universidade francesa e a Universidade de São Paulo. As pesquisas tratam do solo nas suas dimensões agronômicas, ecológicas e geológicas, e, especificamente, da matéria orgânica do solo, que é um fator de fertilidade dos solos, um indicador do estado de degradação do meio, um parâmetro no equilíbrio do meio ambiente global. O objetivo principal é a modelagem da dinâmica da matéria orgânica em diferentes escalas de espaço e tempo. A realização de procedimentos de previsão permite medir o efeito das diferentes ações humanas sobre a produtividade das terras e do meio ambiente local e global (as alterações climáticas).

representa o estado inicial anterior à sua colonização (Fig. 1). No total, os solos brasileiros armazenavam 36.400 ± 3.400 milhões de toneladas de carbono na camada 0 a 30 cm, enquanto a Amazônia Legal estocava 22.700 milhões de toneladas de carbono, ou seja, cerca de 62% do total.

O uso desses solos, principalmente para fins agrícolas e implementação de pastagens, provocaram uma diminuição do estoque total, que foi estimado em 34.400 milhões de toneladas de carbono em 1995.

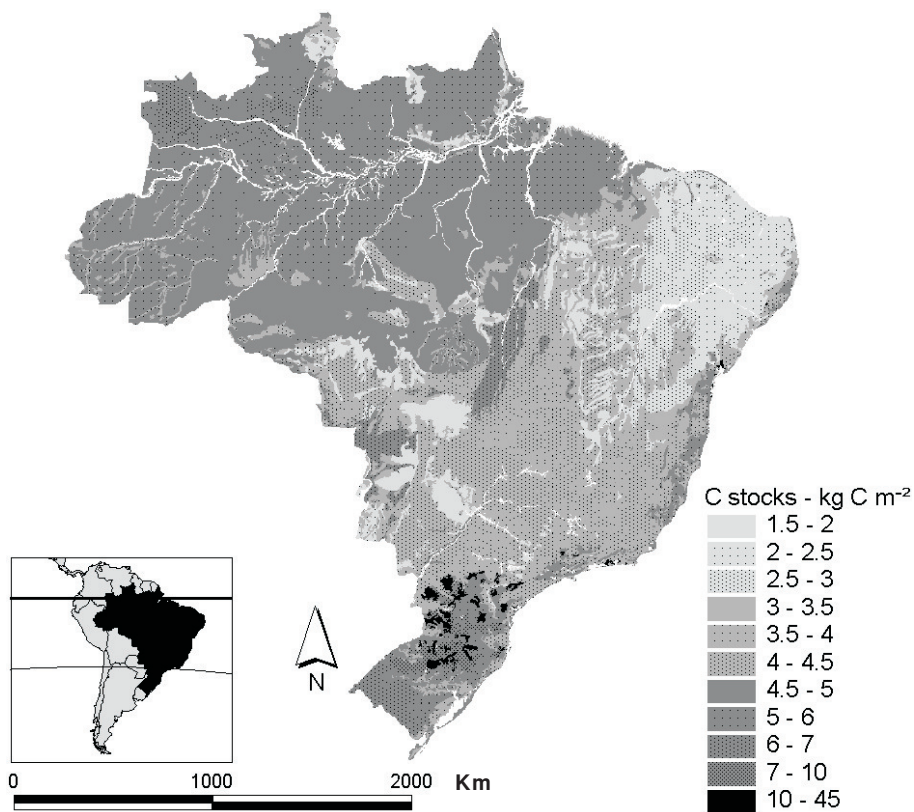


Fig. 1. Estoque de carbono nos solos (30 cm superficiais), considerando estar todo o território brasileiro sob vegetação nativa. O estoque total foi estimado em 36.400 milhões de toneladas de carbono (BERNOUX et al., 2002).

EMISSÃO E FIXAÇÃO DE CO₂ PELOS SOLOS DECORRENTES DA MUDANÇAS DE USO E DO MANEJO DA TERRA

As emissões foram avaliadas (BERNOUX et al., 2001; CERRI et al., 2001) de acordo com a metodologia recomendada pelo GIEC (IPCC/UNEP/OECD/IEA 1997). Entretanto, algumas modificações foram introduzidas para levar em conta as especificidades brasileiras e os dados disponíveis. Por exemplo, o GIEC recomenda a separação dos solos em cinco categorias: solos de atividade alta (solos cuja capacidade de troca catiônica é superior ou igual a 24 cmol_c por kilo de argila), solos de atividade baixa, solos arenosos, solos vulcânicos e solos úmidos. No Brasil, os solos de atividade baixa são dominantes, motivando sua subdivisão em Latossolos e outros solos de atividade baixa. Ademais, as estatísticas de uso da terra tomam como referência limites administrativos (como municípios, estados), e não o tipo de solo, como seria necessário para a metodologia do GIEC. Uma metodologia intermediária, descrita por Bernoux et al. (2001), validou o aproveitamento desses dados.

Finalmente, foi estimado que as mudanças do uso da terra e de manejo foram responsáveis por uma emissão anual média de CO₂ pelos solos, de 46,4 milhões de toneladas, no período 1975–1995. Entretanto, é preciso reconhecer que essas estimativas iniciais são de caráter geral e derivadas de coeficientes não-específicos, por falta de dados mais adequados. Inúmeras pesquisas ainda serão necessárias para avaliar, com maior precisão, a dinâmica dos estoques de carbono nos agroecossistemas tropicais. Convém ainda somar a essas emissões aquelas decorrentes da calagem dos solos (BERNOUX et al., 2003). Estas últimas ficaram entre 4,9 e 9,4 milhões de toneladas de CO₂ entre 1990 e 2000, a uma média de 7,2 milhões de toneladas por ano. Entre 1975 e 1995, a média anual era de 5,5 milhões de toneladas de CO₂. As Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil contribuem com mais de 90% do total.

OUTROS GEES EMITIDOS/FIXADOS PELOS SOLOS

O cálculo da emissão líquida de GEE a ser feito pelos membros da CQNUMC deve considerar também os outros gases responsáveis pelo efeito estufa, principalmente no que se refere aos gases CH₄ e N₂O no setor agrícola. A emissão líquida deve ser expressa em equivalentes a CO₂ baseando-se no

Potencial de Aquecimento Global (PAG) de cada gás. O PAG é uma medida relativa, para um determinado período, do efeito radioativo de certa substância em relação a um padrão, o CO₂ nesse caso, com valor arbitrário de 1. Com essa base, o terceiro relatório de avaliação do GIEC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001) fornece, para um período de 100 anos (PAG 100 anos), valores de 23 para o CH₄ e 296 para o N₂O. Isso quer dizer que, em termos de forçamento radioativo, 1 kg de CH₄ ou de N₂O é tão eficiente quanto, respectivamente, 23 kg ou 296 kg de CO₂. Traduzido para uma base de quantidade de C-CO₂ – também representado por Ceq ou C equivalente –, 1 kg de C-CH₄ equivale a 8,36 kg de Ceq, e 1 kg de C-N₂O a 126,86 kg Ceq.

Não se dispõe ainda de estimativas para os fluxos de CH₄ e N₂O dos solos em âmbito nacional, por falta de dados. Entretanto, há vários estudos em andamento visando trazer novos elementos (ver o artigo de Scopel et al., neste número). Dados preliminares (CERRI et al., 2004) indicam que os agrossistemas cana-de-açúcar com colheita manual, precedida por queima da palhada, representaram uma perda de CH₄ em medidas efetuadas em 1999/2000. A oxidação do metano é quase permanente ao longo do ano, com valores entre -4,9 e -48,8 g CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹ e um valor médio estabelecido em -16,9 g CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹. Esse valor médio corresponde a uma perda anual de 6,17 kg CH₄ ha⁻¹. Os autores também mostram que a mudança de manejo (adoção de uma safra mecanizada, sem queima dos resíduos deixados no solo) pode alterar esses valores, e os solos podem se tornar, temporariamente, uma fonte de CH₄.

CONCLUSÕES

As pesquisas permitiram a obtenção dos primeiros valores de referência para o estoque de carbono nos solos: o Brasil Pré-Colombiano continha 36.400 milhões de toneladas nos 30 cm superficiais. Em 1995, esse estoque estava reduzido a 34.400 milhões de toneladas. Entre 1975 e 1995, as perdas anuais decorrentes de mudanças no uso da terra, no manejo e na calagem totalizavam, em média, 51,9 milhões de toneladas de CO₂. Essas pesquisas, realizadas em estreita colaboração entre o Brasil e a França, permitiram a obtenção das estimativas para uma categoria (5D) que costuma estar ausente das Comunicações Nacionais de numerosos países (<http://unfccc.int/resource/natcom/index.html>). Esses dados serviram de base para a elaboração da Primeira

Comunicação Nacional do Brasil e estão disponíveis na internet, na página do Ministério da Ciência e Tecnologia: <http://www.mct.gov.br/Clima>.

AGRADECIMENTOS

Estas pesquisas foram realizadas no âmbito de um acordo de cooperação bilateral entre o Brasil e a França: Projeto CNPq-CENA-IRD. Os financiamentos foram assegurados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), o Ministère des Affaires Etrangères (MAE), o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) e l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

REFERÊNCIAS

ARROUAYS, D. ; BALESSENT, J. ; GERMON, J. C. ; JAYET, P. A. ; SOUSSANA, J. F. ; STENGEL, P. **Contribution à la lutte contre l'effet de serre: stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?** Paris: INRA, 2002, 332 p. Expertise scientifique collective, Relatório INRA.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888-896, 2002.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, p. 779-787, 2001.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M.C.S.; CERRI, C.C. CO₂ emissions from liming of agricultural soils in Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.17, p.1049-1052, 2003.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B. **Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. 41 p. (Relatórios de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa).

M. Bernoux et al.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; FELLER, C.; CAMPOS, D.; DE LUCA, E.; ESCHENBRENNER, V. Canne à sucre et environnement au niveau agricole. La canne à sucre au Brésil. **Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France**, Paris, 5, p. 1-15, 2004. No prelo.

CHAN KY. Soil particulate organic carbon under different land use and management. **Soil Use and Management**, Oxford, v.17, p. 217-221, 2001.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics, **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). . **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Paris, 1997. v. 11-3. Reporting Instructions (Vol. 1); Workbook (Vol. 2); Reference Manual (Vol. 3).

JENKINSON, D. S.; HARKNESS, D. D.; VANCE, E. D.; ADAMS, D. E.; HARRISON, A. F. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p. 295-308, 1992.

SCHIMMEL, D.S. Terrestrial ecosystem and the carbon cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v.1, p. 77-91, 1995.