

Potencial de seqüestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa

Carbon sequestration potential in agricultural soils under organic management to reduce greenhouse effect gas emissions

Jacimar Luis de Souza¹, Luiz Carlos Prezotti¹, André Guarçoni M.¹

RESUMO

O aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera poderá ter conseqüências graves para toda sociedade. O desflorestamento e o uso dos solos para a produção de alimentos têm contribuído significativamente para aumentar a emissão desses gases. Com o objetivo de monitorar o teor de matéria orgânica e contabilizar o estoque de carbono de diversas unidades de solos, em área experimental de agricultura orgânica no estado do Espírito Santo, Brasil, foi realizado um estudo, caracterizando anualmente 12 unidades de solo, no período de 1990 a 2000. Observou-se acréscimo nos teores de matéria orgânica e de carbono do sistema. Na camada de 0 a 40 cm de profundidade, o estoque de carbono elevou-se de 34,57 t ha⁻¹ para 58,19 t ha⁻¹, com fixação de 23,62 t ha⁻¹ em 10 anos, o que corresponde a 86,62 t ha⁻¹ de CO₂. Conclui-se que o manejo agroecológico em sistema orgânico de produção permite elevar o teor de matéria orgânica dos solos, pela reciclagem e seqüestro de carbono atmosférico, confirmando elevado potencial para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa, podendo contribuir para a redução do aquecimento global.

Palavras-chave: agricultura orgânica, aquecimento global, gás carbônico.

ABSTRACT

The increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere will have serious consequences for all of society. Deforestation and the use of soils for production of food have contributed significantly to increase the emission of greenhouse gases. With objectives to monitor the levels of organic matter and quantify the carbon content of diverse soil units in an organic agriculture research area in the State of Espírito Santo, Brazil, a study was carried out characterizing annually 12 units of soil, during the period of 1990 to 2000. An increase in the levels of organic matter and carbon in the system was observed. In the soil layer from 0 to 40 cm deep, the carbon content increased from 34.57 t ha⁻¹ to 58.19 t ha⁻¹, with fixation of 23.62 t ha⁻¹ in 10 years, which corresponds to 86.62 t ha⁻¹ of CO₂. It is concluded that agroecological management in an organic production system enables an increase in the level of organic matter of soils by recycling and sequestering atmospheric carbon, confirming the increased potential of organic agriculture to reduce greenhouse gas emissions and contribute to a reduction in global warming.

Key words: organic agriculture, global warming, carbon dioxide.

Introdução

O efeito estufa se deve ao aumento excessivo das emissões de gases, principalmente o CO₂, devido às atividades humanas que utilizam recursos naturais tais como o carvão e o petróleo, estocados pela natureza ao longo de milhões de anos e que liberam CO₂ para a atmosfera de forma irreversível. Outro componente na emissão de CO₂ origina-se da redução das áreas florestadas, que, no entanto, pode ser reversível. Este contínuo aumento de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, trouxe como

conseqüência maior interação com a radiação infravermelha refletida pela terra e conseqüente aumento da temperatura do ar. Esse aumento é denominado de *aquecimento global*, que provoca mudanças climáticas, tais como distribuição irregular das chuvas, aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera, elevação do nível do mar, entre outros (Cerri & Cerri, 2007).

Watson *et al.* (2001), citados por Roscoe (2006), relatam que, dentre os Gases de Efeito Estufa - GEE emitidos pelas atividades antropogênicas, o gás carbônico (CO₂) é responsável por cerca de 70%

¹ Pesquisadores do INCAPER - Centro Serrano, BR-262, Km 94, 29.375-000 Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil. E-mail: jacimarsouza@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

do potencial de elevação da temperatura terrestre. Nos últimos 250 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 31%, alcançando os atuais 366 ppm, mais alto nível observado nos últimos 420 mil anos. No último século, a temperatura do planeta já subiu 0,7° C e, nos próximos cem anos, o aumento pode chegar entre 1,4° C e 5,8° C, segundo projeções do IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Marengo, 2006).

A importância de reduzir as emissões reside no fato de que a reversão do CO₂ lançado na atmosfera é muito lenta, pois ele tem uma longa vida neste ambiente. Uma vez acrescentado certo número de moléculas de CO₂ no ar, levará mais de 120 anos para a natureza reduzi-lo à metade. Portanto, se pararem as emissões imediatamente, o que é irreal, permanecerá o aquecimento por mais de um século (Rosa, 2007).

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono em um ecossistema. Entretanto, o carbono é um componente dinâmico e sensível ao manejo realizado no solo. Seu conteúdo encontra-se estável sob condições de vegetação natural, porém com a quebra do equilíbrio pelo cultivo do solo em preparo convencional, geralmente ocorre redução no seu teor, resultado das novas taxas de adição e de perda (Dalal & Mayer, 1986, citados por Dellamea *et al.*, 2002). Segundo Cerri & Cerri (2007) o solo se constitui num compartimento chave no processo de emissão e seqüestro de carbono, pois em termos globais, há duas a três vezes mais carbono nos solos em relação ao estocado na vegetação e duas vezes mais em comparação à atmosfera. Assim, manejos inadequados do solo podem assumir um papel desastroso, pois podem mineralizar a matéria orgânica e emitir grandes quantidades de GEE para a atmosfera. Isto demonstra o grau de importância que manejos ecológicos de solos representam para o planeta atualmente.

Os bosques e os agroecossistemas desempenham um importante papel no ciclo global do carbono. Algumas das práticas que causam estas emissões são as queimas, a fertilização mineral, as intervenções freqüentes e o preparo intensivo do solo. Porém existem outras formas de utilizar a terra que podem causar efeito inverso, incrementando o conteúdo de carbono no solo e na vegetação ao aumentar as quantidades de dióxido de carbono capturado, sem produzir um efeito aditivo às emissões oriundas de combustíveis fósseis (Dixon *et al.*, 1994b, citados por Dixon, 1995).

O impacto e a contribuição das formas de uso da terra, especialmente da agricultura, para o aquecimento global têm sido recentemente discutidos pela comunidade científica nacional e internacional. Scarpellini & Bolonhezi (2007) relatam que as atividades agrícolas são responsáveis por 20% das emissões dos gases de efeito estufa, em nível global, de acordo com dados do IPCC do ano de 2001. Kevin *et al.* (2005), citados por Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas (2006) indicam 31,7% para a mudança de uso da terra e agricultura. No caso específico do Brasil, o Inventário Nacional de 2004 indicou que 75% das emissões de CO₂ –no período de 1990 a 1994– foram de responsabilidade da mudança do uso da terra e, principalmente, do desmatamento na Amazônia (Forum ..., 2006).

O aumento da temperatura e as mudanças no regime hídrico, causados pelo aquecimento global, terão um grande impacto na produção agrícola do Brasil (Assad *et al.*, 2004). O estudo sugere, a partir de simulações feitas com base no aumento de temperatura de 1° C, 3° C e 5,8° C e no acréscimo de 5%, 10% e 15% na precipitação pluviométrica, que, mantidos esses cenários, um forte rearranjo espacial poderá acontecer na geografia da produção agrícola brasileira. Culturas perenes, como o café, tendem a procurar regiões com temperaturas máximas mais amenas, e o eixo de produção poderá se deslocar para o sul do país. As elevadas temperaturas de verão vão condicionar o deslocamento de culturas como arroz, feijão, milho e soja para a região Centro-Oeste, podendo mudar de modo significativo o zoneamento agrícola brasileiro.

Dixon (1995) relata que as práticas de cultivo mínimo do solo, a incorporação de restos culturais e resíduos orgânicos, a adubação verde e as rotações utilizando cultivos de cobertura com gramíneas ou leguminosas, retém o carbono nos solos por décadas, inclusive séculos. Baseado nesses relatos e como as práticas da agricultura orgânica pressupõem o emprego de todas essas estratégias, estas se apresentam como excelentes alternativas para fixação do carbono e a redução do principal gás de efeito estufa, o CO₂.

Análises de sustentabilidade na agricultura devem tomar por base a eficiência energética dos processos e sistemas. Sistemas de produção, que sejam tecnicamente eficazes, ecologicamente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos, tornam-se insustentáveis se não forem energeticamente eficientes, mesmo se tratando de

sistemas orgânicos de produção (Souza, 2006). Diante do grave problema ambiental de aquecimento global, a quantificação dos fluxos de CO₂ deve ser inserida como parte da abordagem energética e de sustentabilidade de sistemas de produção agrícola. Portanto, objetivou-se com este estudo monitorar o teor de matéria orgânica e contabilizar o estoque de carbono das unidades de solos submetidos à prática da agricultura orgânica, durante dez anos, no período de 1990 a 2000, no estado do Espírito Santo, Brasil.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado na área experimental de agricultura orgânica, onde diversas unidades de solo foram caracterizadas individualmente, no ano de 1990, por ocasião do início dos trabalhos com manejo orgânico. Anualmente foram avaliados os teores de matéria orgânica, com coleta de dados por meio de amostragem múltipla de solos por talhão experimental nas 12 unidades de solo, atendendo a uma das formas de monitoramento dos fluxos de carbono relatadas por Subak (2000). A caracterização física e química inicial dos solos está apresentada na Tabela 1.

O manejo de matéria orgânica e a fixação de carbono no sistema se deram pela fixação de biomassa em capineiras e adubos verdes (gramíneas e leguminosas), pela ciclagem de resíduos através da importação de esterco de galinha para a compostagem e pelo manejo da vegetação espontânea local. Neste processo, ocorre uma dinâmica intensa de carbono, envolvendo *ganhos* (na forma de Carbono e CO₂, pelas práticas mencionadas) e *perdas* (por emissões naturais de CO₂ no sistema de compostagem e no preparo mecânico dos solos para plantio). Neste estudo avaliou-se o acúmulo temporal, analisando o *saldo* de Carbono no processo, estando inserido todo processo de *ganhos* e *perdas*.

Tabela 1. Classificação textural e teor de matéria orgânica das unidades de solo utilizadas no trabalho. INCAPER, 1990.

Unidades de solo	Classificação Textural	Teor inicial de matéria orgânica (%)
Solo 1	Argiloso	1,5
Solo 2	Argiloso	2,0
Solo 3	Argiloso	2,0
Solo 4	Argilo Arenoso	2,4
Solo 5	Argiloso	1,6
Solo 6	Argiloso	2,3
Solo 7	Argiloso	1,4
Solo 8	Argiloso	2,0
Solo 9	Muito Argiloso	1,2
Solo 10	Argiloso	1,4
Solo 11	Franco Argilo Arenoso	1,0
Solo 12	Argiloso	1,8

Pressupõe-se, neste trabalho, que a reciclagem de resíduos orgânicos empregada na agricultura orgânica, a exemplo da importação de esterco de aviário para inoculação de compostos, contribui para elevar o estoque de carbono do solo, visto que este retornaria para a atmosfera na forma de CO₂, se não fosse reciclado. As adubações foram realizadas com composto, na base de 15 t ha⁻¹ (peso seco) para a maioria dos cultivos. Os compostos utilizados apresentaram a composição média, contida na Tabela 2, onde se destaca um teor médio de 48% de matéria orgânica, correspondentes a 27,8% de Carbono.

A dinâmica do sistema contemplou práticas usuais da agricultura orgânica, tais como:

- Sistema orgânico diversificado com preservação parcial da vegetação nativa local;
- Fixação de carbono por área em capineiras utilizadas para produção de biomassa para a compostagem orgânica;

Tabela 2. Composição média de compostos orgânicos usados nas adubações. INCAPER, 1990 a 1995.¹

Discriminação	M.O. (dag kg ⁻¹)	C/N	pH	Macronutrientes						Micronutrientes								
				N			P			Ca		Mg		Cu	Zn	Fe	Mn	B
				(mg dm ⁻³)						(cmolc dm ⁻³)		(mg dm ⁻³)						
Composto	48	13/1	7,4	2,25	1,60	1,50	6,0	0,6	50	223	16.064	804	36					

¹ Média de 20 medas.

- Compostagem orgânica para produção de composto, utilizado como adubo orgânico para as culturas;
- Plantio Direto de hortaliças sobre palhada de adubos verdes;
- Cultivo solteiro de adubos verdes em rotação, visando proteção do solo e fixação de carbono e nitrogênio;
- Manutenção de corredor de refúgio com espécies espontâneas, visando manter a estabilidade ecológica e controlar a erosão;
- Manejo da vegetação espontânea entre as linhas de cultivo de hortaliças, pela técnica da capina em faixa, proporcionando proteção do solo, maior diversidade, equilíbrio ecológico, controle de erosão e ciclagem de nutrientes no perfil do solo;
- Manutenção da vegetação espontânea entre os canteiros para proteção do solo, para refúgio de predadores, proteção do solo e ciclagem de nutrientes;
- Emprego de biofertilizante líquido em adubação de cobertura para melhoria nutricional das culturas.

Ao longo de 10 anos foram cultivadas dezesseis espécies de hortaliças (abóbora, alface, alho, batata, batata-doce, beterraba, cenoura, couve-flor, gengibre, mandioquinha-salsa, morango, pimentão, quiabo, repolho, taro e tomate) em rotação com as culturas de milho, feijão e mucuna preta (principal espécie utilizada como adubação verde dos solos). No período de 1990 a 2000, foram realizados: 19 cultivos na unidade 1; 21 cultivos na unidade 2; 17 cultivos na unidade 3; 15 cultivos na unidade 4, 18 cultivos na unidade 5; 18 cultivos na unidade 6; 13 cultivos na unidade 7; 19 cultivos na unidade 8; 10 cultivos na unidade 9; 16 cultivos na unidade 10; 18 cultivos na unidade 11 e 13 cultivos na unidade 12.

As amostragens dos solos para análise dos teores de matéria orgânica foram realizadas anualmente, na camada de 0 a 20 cm. Foram também realizadas análises de solo na camada de 20 a 40 cm, para conhecer a proporção do conteúdo de carbono desta camada em relação à camada de 0 a 20 cm. Com essa informação foi realizada a estimativa de carbono fixado até 40 cm de profundidade no solo. Apesar da maioria do carbono estar nas camadas superficiais do solo (0 a 40 cm), existe uma parcela significativa dele abaixo de 40 cm de profundidade, a qual não foi mensurada neste trabalho.

Para efeito de cálculo dos conteúdos de matéria orgânica, CO₂ e C, convencionou-se que as densidades de todas as unidades de solo avaliadas são em média 1,0 kg dm⁻¹, totalizando, portanto, 2 milhões de kg de solo por hectare, na camada de 0 a 20 cm.

As determinações dos teores de matéria orgânica foram feitas por meio de análises laboratoriais, em amostras compostas coletadas anualmente nas unidades de solo. O cálculo do teor de carbono foi estimado pela razão entre o teor de matéria orgânica e o fator convencionalmente usado de 1,728. A equivalência entre carbono e o CO₂ baseou-se nos pesos moleculares dos elementos, em que 1,0 molécula de CO₂ equivale a 3,667 moléculas de C.

Empregou-se a análise de regressão das médias dos teores de matéria orgânica das 12 unidades de solo, em função dos anos de cultivo, para se obter os teores estimados de matéria orgânica ao longo dos anos, que serviram de base para as estimativas das demais variáveis. Ademais, para ampliar a estimativa de estoque de Carbono até 40 cm de profundidade, utilizou-se o índice médio de 1,65, uma vez que os teores de matéria orgânica na camada de 20 a 40 cm representam, em média, 65% dos teores observados na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de matéria orgânica de cinco unidades de solo em duas profundidades. INCAPER, 2006.

Profundidades	Teor de matéria orgânica					Médias
	Solo 1	Solo 2	Solo 3	Solo 4	Solo 5	
	(dag kg ¹)					
(A) 0 a 20 cm	3,02	3,24	3,70	2,29	2,52	2,95
(B) 20 a 40 cm	1,81	2,52	2,34	1,33	1,63	1,93
% (B/A)	60%	78%	63%	58%	65%	65%

A variável analisada na camada de 0 a 20 cm de profundidade foi o teor de matéria orgânica (MO), sendo com ele estimado o teor de carbono (C) e o teor correspondente de dióxido de carbono (CO₂). As variáveis para a camada de 0 a 40 cm de profundidade foram: conteúdo de carbono (estoque), acúmulo de carbono, incrementos anuais de carbono, conteúdo correspondente de CO₂, acúmulo correspondente de CO₂ e incrementos anuais de CO₂. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e análise de regressão, utilizando-se o programa EXCEL.

Resultados e Discussão

Com base na Figura 1, as médias dos teores de matéria orgânica mostraram elevações até o 10º ano. O teor médio de MO evoluiu de 1,72% em 1990, atingindo um máximo de 3,2% em 2000, ou seja, acréscimo de aproximadamente 84,9%. Estes resultados estão de acordo com os dados obtidos por Feng & Li (2002), citados por Li & Feng (2007), onde relatam que o uso de produtos de decomposição aeróbica (compostagem) e de digestão anaeróbica são mais eficientes para incrementar o carbono orgânico do solo, por apresentarem taxas de decomposição duas vezes menores que resíduos vegetais. Portanto, essa taxa de acúmulo de matéria orgânica verificada neste estudo foi favorecida pelo sistema de manejo empregado, que contemplou o uso de composto orgânico (elaborado com esterco de aviário e resíduos vegetais).

Os dados estimados para a camada de 0 a 40 cm de profundidade indicam que o conteúdo de carbono elevou-se de 34,57 t ha⁻¹ para 58,19 t ha⁻¹, com fixação de 23,62 t ha⁻¹ em 10 anos. O conteúdo de CO₂ correspondente elevou-se de 126,76 t ha⁻¹ para 213,37 t ha⁻¹, com fixação de 86,62 t ha⁻¹ em 10 anos. Isto representa médias anuais de fixação de 2,36 t C e de 8,66 t CO₂, comprovando a eficiência do manejo orgânico dos solos no seqüestro e na fixação de carbono (Tabela 4).

Observou-se que o potencial de seqüestro de carbono tende a diminuir com o tempo, tendendo a ganhos insignificantes a partir do 10º ano (Figura 2). Verifica-se que o acúmulo total de C ao final de 10 anos foi de 23,62 t ha⁻¹. Os incrementos anuais de carbono foram decrescentes, iniciando em 4,46 t ha⁻¹, atingindo 0,27 t ha⁻¹ no 10º ano (Figura 3). Estes dados diferem daqueles relatados por Jenkinson (1990), citado por Li & Feng (2007), onde a aplicação anual de 3 t ha⁻¹ de esterco, na

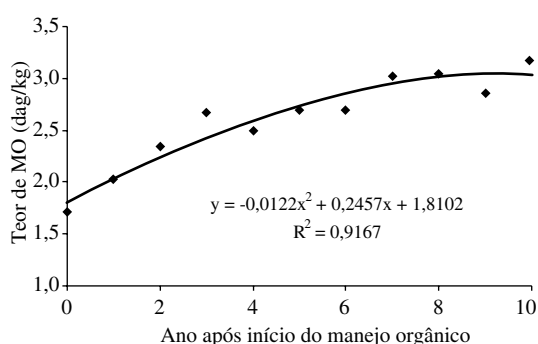


Figura 1. Teores de matéria orgânica da camada de 0 a 20 cm, em função dos anos de manejo orgânico. Os valores observados são médias de 12 unidades de solo. INCAPER, 1990 a 2000.

estação experimental de Rothamsted promoveu acréscimos de carbono durante 150 anos, no período de 1840 a 1990. Acredita-se que o elevado aporte de adubação orgânica com composto utilizado nesse trabalho (15 t ha⁻¹ por cultivo, equivale a 30 t ha⁻¹ por ano, realizando-se dois cultivos de hortaliças), tenha sido a causa desta tendência de estabilização a partir de 10 anos, atingindo o estágio de equilíbrio entre ganhos e perdas do sistema.

Práticas agrícolas seqüestradoras de carbono devem ser contínuas para que o CO₂ fixado não seja perdido. Assim, por exemplo, o sistema plantio direto pode aumentar o carbono armazenado no solo se for realizado continuamente, porém se for interrompido por um ano pelo preparo intensivo de solo, pode-se perder grande parte do carbono do solo acumulado por vários anos (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre El Cambio Climático, 2000). Esta consideração também é válida para a agricultura orgânica, na qual as práticas conservacionistas devem ser permanentes, tanto para conservar quanto para compensar os ganhos e perdas de carbono no tempo. Exemplo disso é a produção de biomassa em capineiras perenes para a compostagem, usadas neste trabalho, que são fontes de captação de CO₂. Este volume é constantemente produzido e cortado para a confecção de composto no sistema. Entretanto, quando o composto está sendo feito (e perdendo CO₂), a capineira retoma seu crescimento e imobilização de carbono. Nesse caso temos uma imobilização do carbono pela constância do ciclo. Anualmente são produzidas aproximadamente 360 m³ de biomassa triturada (72 toneladas de resíduo úmido), em 3.000 m² de capineiras que auxiliam na sustentação do sistema. Portanto, o período de ganhos com seqüestro e fixação de carbono em sistemas

Tabela 4: Valores de matéria orgânica (MO), carbono (C) e dióxido de carbono correspondente (CO₂), em duas profundidades de solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, 1990 a 2000.

Anos após início do manejo	0 a 20 cm				0 a 40 cm					
	Teor de MO observado (dag kg ⁻¹)	Teor de MO estimado ¹ (dag kg ⁻¹)	Teor C estimado (dag kg ⁻¹)	Teor CO ₂ correspondente (dag kg ⁻¹)	Conteúdo de C (t ha ⁻¹)	Acúmulo de C (t)	Incremento anual de C (t)	Conteúdo de CO ₂ correspondente (t ha ⁻¹)	Acúmulo de CO ₂ correspondente (t)	Incremento anual correspondente de CO ₂ (t)
Ano 0 (1990)	1,717	1,810	1,048	3,841	34,570	0,000	-	126,756	0,000	-
Ano 1 (1991)	2,025	2,044	1,183	4,337	39,029	4,459	4,459	143,106	16,350	16,350
Ano 2 (1992)	2,342	2,253	1,304	4,780	43,022	8,452	3,993	157,748	30,992	14,642
Ano 3 (1993)	2,675	2,438	1,411	5,172	46,549	11,979	3,527	170,681	43,925	12,933
Ano 4 (1994)	2,492	2,598	1,503	5,512	49,611	15,041	3,061	181,906	55,150	11,225
Ano 5 (1995)	2,692	2,734	1,582	5,801	52,206	17,636	2,595	191,422	64,666	9,516
Ano 6 (1996)	2,697	2,845	1,647	6,037	54,335	19,765	2,129	199,230	72,474	7,808
Ano 7 (1997)	3,017	2,932	1,697	6,222	55,999	21,429	1,663	205,329	78,573	6,099
Ano 8 (1998)	3,042	2,995	1,733	6,355	57,196	22,626	1,197	209,719	82,963	4,390
Ano 9 (1999)	2,858	3,033	1,755	6,436	57,928	23,358	0,731	212,401	85,645	2,682
Ano 10 (2000)	3,175	3,047	1,763	6,466	58,193	23,623	0,265	213,374	86,618	0,973

¹ Dados estimados pela equação de regressão linear. Demais variáveis relativas ao carbono e ao CO₂ foram calculadas em função do teor de MO estimado.

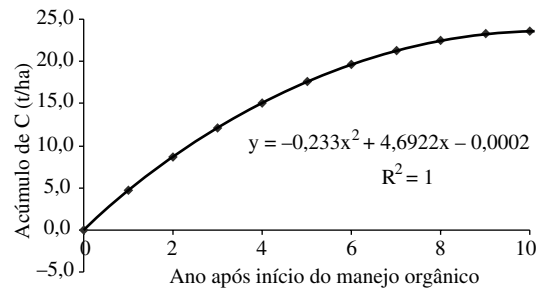


Figura 2. Acúmulo de carbono, na camada de 0-40 cm, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, 1990 a 2000.

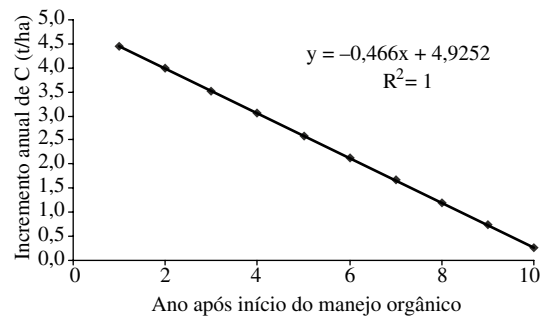


Figura 3. Incrementos anuais de carbono, na camada de 0-40 cm, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, 1990 a 2000.

orgânicos de produção dependerá fortemente de 2 fatores: da *intensidade* de aplicação das práticas sequestradoras e da *constância* de uso das mesmas.

Na Tabela 5 são apresentados os acúmulos de carbono e CO₂ em 1,0 hectare, durante todo período do estudo, com as respectivas médias anuais de matéria orgânica, com base na função apresentada na Figura 1. São apresentadas também as projeções hipotéticas de impactos da fixação de C e CO₂ para toda a área agrícola brasileira e mundial, caso estas áreas fossem totalmente convertidas em manejo orgânico similar ao aplicado neste trabalho.

Se toda a área agrícola mundial de 310 milhões de hectares (Ferraro Júnior, 1999) fosse manejada de forma similar ao sistema orgânico aqui empregado, seria possível fixar em 10 anos, na camada de 0 a 40 cm dos solos, 26,852 Gt CO₂, com média anual de 2,685 Gt CO₂. Estes valores correspondem a 7,324 Gt C em 10 anos e 0,732 Gt C por ano. Segundo dados do IPCC, citados por Russi *et al.* (2003), para manter estáveis os níveis de CO₂ na atmosfera e frear as mudanças climáticas, os níveis de emissão deveriam reduzir-se a 3,35 Gt C ao ano.

Tabela 5. Estimativa de fixação de carbono e CO₂, em Giga Toneladas (Gt), na camada de 0 a 40 cm de profundidade, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, 2006.

Indicadores	Período	Área (ha)		
		Projeto 1,0 (t)	Brasileira ¹ 57 milhões (Gt = t 10 ⁹)	Mundial ² 310 milhões (Gt = t 10 ⁹)
Carbono	10 anos	23,625	1,347	7,324
	anual	2,362	0,135	0,732
CO ₂	10 anos	86,618	4,937	26,852
	anual	8,662	0,494	2,685

¹ Soma das áreas ocupadas com culturas temporárias e permanentes, segundo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2004).

² Área agrícola mundial, segundo dados da FAO (1996), citado por Ferraro Júnior (1999).

Considerando que o total de emissões mundiais antrópicas atualmente está em torno de 7 Gt C ao ano (Enting *et al.*, 1994), temos um excesso de emissões em torno de 3,65 Gt C, que necessitam ser evitadas. Portanto, a hipótese do seqüestro e fixação anual de 0,732 Gt C contribuiria na redução de 20,05% das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Considerando que as emissões apenas oriundas do desmatamento e uso da terra (onde está inserida a atividade agrícola como principal emissor), em nível mundial, representam 20% do total (segundo dados do IPCC de 2001, citados por Scarpellini & Bolonhezi, 2007), a prática da agricultura orgânica permitiria, portanto, seqüestrar e fixar no solo o equivalente a 100 % do excesso de emissões atribuídas ao próprio setor.

Em nível nacional, a situação é bem distinta. Segundo Cerri & Cerri (2007), o padrão de emissão de gases pelas atividades humanas no Brasil é completamente diferente da situação global. A mudança no uso da terra e florestas, devido ao desmatamento e às práticas agrícolas, são as principais fontes de emissão de GEE, representando 75% das emissões. Apenas 25% são derivadas da queima de combustíveis fósseis. Por este motivo, seguindo as mesmas projeções feitas para a área mundial, a contribuição relativa da prática da agricultura orgânica para reduzir as emissões no Brasil seria ainda mais expressiva.

Indicadores nacionais apresentados por Cerri & Cerri (2007), baseados em Bernoux *et al.* (2001), revelam que as taxas anuais líquidas de emissão de CO₂ no Brasil, considerando-se apenas as atividades agrícolas, atingiram 0,0464 Gt CO₂ (0,01265 Gt C) na média de 20 anos (1975-1995). Segundo

os autores, a adoção de práticas de manejo menos agressivas, como a adoção do sistema plantio direto em substituição ao sistema convencional e a colheita da cana-de-açúcar mecanicamente em substituição à colheita com queima da palha, poderiam evitar a emissão de 0,009 e 0,00155 Gt C ano⁻¹, respectivamente. Ambas somariam 0,0106 Gt C ano⁻¹, que seriam quase suficientes para compensar toda emissão líquida de 0,01265 Gt C ano⁻¹ de todo território brasileiro no período analisado. Fazendo-se uma análise similar com os dados obtidos neste trabalho, a fixação anual de 0,135 Gt C, projetada para a área agrícola brasileira (Tabela 5), seria 10,7 vezes maior que a emissão líquida de 0,01265 Gt C ano⁻¹ do setor, relatada por Cerri & Cerri (2007). Neste caso, além de compensar suas próprias emissões, o Brasil geraria um grande excedente, potencialmente negociável no mercado internacional de créditos de carbono.

A ratificação do Protocolo de Quioto, no qual os países desenvolvidos assumiram metas de redução das emissões de gases causadores de efeito estufa, cria a expectativa de que, em um futuro próximo, produtores rurais que adotem a prática da agricultura orgânica possam obter compensações pela prestação de serviços ambientais. O Protocolo de Quioto abre espaço para que as atividades seqüestradoras de carbono nos ecossistemas terrestres sejam contabilizadas no inventário final das emissões de cada país. Dessa forma, as emissões de um dado país podem ser amortizadas pelo seqüestro de carbono em outro território, possibilitando o acesso ao mercado internacional de crédito de carbono, via projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

Tomando por base o preço de 16,20 euros por tonelada de CO₂ (aproximadamente R\$ 35,00), negociada na Bolsa de Mercadorias e Futuros em setembro de 2007 (Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2008), as 86,62 t CO₂ fixadas ao longo de 10 anos em 1,0 ha desta área estudada corresponderiam a R\$ 3.031,70. Propriedades orgânicas com áreas médias cultivadas em torno de 10 ha, potencialmente poderiam obter um crédito de R\$ 30.317,00 no mercado de crédito de carbono, no período analisado de 10 anos, confirmando o grande potencial existente para a agricultura orgânica neste setor. Pelo crescimento da área com agricultura orgânica, justifica-se avaliar seu potencial para seqüestro de carbono, visto que o Brasil já aparece nas estatísticas em 8º lugar em área orgânica certificada no mundo, totalizando mais de 840.000 hectares (Willer & Yussefi, 2007).

Baseando-se no relato de Dixon (1995), quanto às formas que os sistemas agroflorestais podem ajudar a estabilizar as emissões de GEE, e suplementando-as com as informações obtidas no manejo orgânico aplicado no presente estudo, visualiza-se três formas de redução de emissões de gases de efeito estufa pela prática da agricultura orgânica:

- a) *Reciclando o carbono de resíduos orgânicos e capturar CO₂ pelas plantas, armazenando-o, em longo prazo, na vegetação perene e no solo;*
 b) *Produzindo alimento seguro, bio-combustíveis ecológicos e fibra, reduzindo a degradação da terra e as reservas naturais de carbono;*
 c) *Neutralizando a queima de combustíveis fósseis, pela produção sustentável de bio-combustíveis.*

Conclusões

O manejo agroecológico em sistema orgânico de produção permite elevar o teor de matéria orgânica dos solos, pela reciclagem e seqüestro de carbono atmosférico;

Os ganhos com seqüestro e fixação de carbono em sistemas orgânicos de produção agrícola dependerão fortemente da intensidade de aplicação das práticas seqüestradoras e da constância de uso das mesmas;

Sistemas orgânicos de produção apresentam elevado potencial para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa, podendo contribuir para a redução do Aquecimento Global.

Literatura Citada

- Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Zullo Júnior, J.; Ávila, A. M. H.
 2004 Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café na Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 11, pp. 1057-1064.
- Bolsa de Mercadorias & Futuros
 2008 Histórico de Leilões. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/portal/pages/MBRE/negociacao.asp>. Acesso: 10 mar. 2008.
- Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P.
 2007 Agricultura e Aquecimento Global. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.arruda.rits.org.br/oeco/reading/pdf>. Acesso: 10 jun. 2007.
- Dellamea, R. B. C.; Amado, T. J. C.; Grapeggia Júnior, G.; Pedroso, M. T.; Lemainski, C. L.; Vezzani, F.; Didoné, A. J.
 2002 Potencial de acúmulo de C e N de áreas agrícolas na microbacia Cândido Brum, Arvorezinha-RS. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Cuiabá, MT.
- Dixon, R. K.
 1995 Sistemas agroflorestales y gases invernadero. *Agroforesteria en las Americas*, Turrialba, v. 2, n. 7, pp. 22-26.
- Enting, I. G.; Wigley, T. M. L.; Heimann, M.
 1994 Future Emissions and Concentrations of Carbon Dioxide: Key Ocean/Atmosphere/Land Analyses. CSIRO, Division of Atmospheric Research Technical: Austrália, 130 p. (Paper Nº 31).
- Ferraro Júnior, L.
 1999 A. Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade. Piracicaba, SP: ESALQ, 1999. 131P. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz/USP.
- Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas - FBMC
 2006 Relatório de atividades 2005. 98 p.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre El Cambio Climático.
 2000. Informe Especial del IPCC: Uso de la tierra, Cambio de uso de la tierra y Silvicultura. OMM/PNUMA, 30 p.
- IBGE
 2007 Censo Agropecuario 1995/96. Arquivo em Hipertexto. Disponível em http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/. Acesso: 30 jul. 2007.
- Li, X.; Feng, Y.
 2007 Carbon sequestration potentials in agricultural soils. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.aidis.org.br/span/ftp>. Acesso: 22 mai. 2007.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
 2004 O estado da arte da agricultura brasileira. Mapa: Rio de Janeiro, 17 p.
- Marengo, J. A.
 2006 Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 212 p.: il. color ; 21 cm. (Série Biodiversidade, v. 26).

- Rosa, L. P.
2007 O clima da terra e a redução das incertezas. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.forumclima.org.br/default.asp?dc=11>. Acesso: 12 dez. 2007.
- Roscoe, R.
2006 O seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M.; Salton, J.C. (Org.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, pp. 43-61.
- Russi, D.; Ventosa, I. P.; Martin, J.R.; Cerdá, M. O.; Ungar, P.
2003 La Deuda de Carbono. In: Colectivo de Difusión de La Deuda Ecológica – CDE's. Ed. Icaria, Junio, 72 p. ISBN: 84-7426-706-4.
- Scarpellini J. R.; Bolonhezi, D.
2007 O aquecimento global e a agricultura em São Paulo. 2007. Artigo em Hipertexto, 5 p. Disponível em http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/Aquecimentoglobal/Index.htm. Acesso: 29 mai. 2007.
- Souza, J. L. De
2006 Balanço energético em cultivos orgânicos de hortaliças. Tese de doutorado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, UFV, 207 p.
- Subak, S.
2000 Agricultural soil carbon accumulation in North America: considerations for climate policy. *Global Environmental Change*, Guidford, v. 10, pp. 185-195.
- Willer, H.; Yussefi, M. (Eds.)
2007 The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2007. Bonn: IFOAM, 250 p. ISBN: 3-934055-82-6.

