

# ESTOQUE DE CARBONO E FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DE HORTALIÇAS, EM OITO ANOS DE ROTAÇÃO<sup>1</sup>

Jacimar Luis de Souza<sup>2</sup>, Gabriel Pinto Guimarães<sup>3</sup>

**RESUMO** – O manejo adequado da adubação e a ciclagem de nutrientes são estratégias muito importantes em sistemas orgânicos de produção. Este experimento foi executado de 1991 a 1999 e teve por objetivo avaliar três sistemas de adubação orgânica e mineral e um sistema testemunha (sem adubação), num delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições e parcelas formadas por faixas permanentes de 25 m de comprimento e 4 m de largura (100 m<sup>2</sup>). Os tratamentos avaliados foram: T1. Composto orgânico - CO (15 t.ha<sup>-1</sup>, peso seco); T2. Composto orgânico - CO (15 t.ha<sup>-1</sup>, peso seco) + Adubação mineral - AM (conforme análise); T3. Adubação mineral – AM (conforme análise); T4. Testemunha (sem adubação). Nos sistemas de adubação orgânica e adubação orgânica + mineral, uma fração do carbono adicionado se acumulou no solo ao longo do tempo. A adubação mineral isolada e o sistema sem adubação revelaram alto nível de emissão das reservas de carbono do solo. Durante 8 anos, o estoque de carbono no sistema com adubação orgânica elevou-se em 20,5%, de 38,5 t.ha<sup>-1</sup> para 46,4 t.ha<sup>-1</sup> de COT, enquanto no sistema com adubação mineral exclusiva foi reduzido em 38,2%, de 33,0 t.ha<sup>-1</sup> para 20,4 t.ha<sup>-1</sup>. Os dados comprovam que sistemas submetidos à adubações orgânicas são mais tamponados quanto a perdas de carbono do solo. O acúmulo de carbono demonstrou que houve um ganho aproximado de 7,9 t.ha<sup>-1</sup> de COT com a adubação orgânica, correspondendo a um sequestro ou emissão evitada de 29,0 t.ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>-equivalente. A perda de 12,6 t.ha<sup>-1</sup> de COT no sistema com adubação mineral, correspondeu a uma emissão de 46,6 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-equivalente. As adubações orgânicas, isoladas ou associadas ao adubo mineral, auxiliaram na correção da acidez e na elevação do fósforo e das bases do solo. As produtividades de batata e milho foram similares nos três sistemas de adubação, que apresentaram rendimentos maiores que o sistema sem adubação. Para a cultura do repolho, a adubação orgânica proporcionou rendimentos médios semelhantes à adubação mineral exclusiva. Os maiores rendimentos, nesse caso, foram alcançados pelo uso associado da adubação orgânica com a mineral.

Palavras chave: agricultura orgânica, aquecimento global, matéria orgânica, sequestro de carbono.

## **STOCKS OF CARBON AND SOIL FERTILITY IN ORGANIC AND MINERAL SYSTEMS OF FERTILIZATION FOR VEGETABLES, IN EIGHT YEARS OF CROP ROTATION**

**ABSTRACT** – The accurate fertilization and nutrient cycling strategies are very important in organic production systems. This experiment was implemented from 1991 to 1999 and had as objective evaluating three systems of organic and mineral fertilization and a control (no fertilization), in a randomized complete block design with three replications tracks formed by permanent 25 m long and 4 m wide (100 m<sup>2</sup>). The treatments were: T1. Organic compost - CO (15 t.ha<sup>-1</sup>, dry weight); T2. Organic compost - CO (15 t.ha<sup>-1</sup>, dry weight) + mineral fertilizers - MF (according to analysis); T3. Mineral fertilizers - MF (according to analysis); and T4. Control (no fertilization). In systems with organic fertilizer, a fraction of added carbon has accumulated in soil over time. The isolated mineral fertilization system and without fertilization revealed high emissions of soil carbon

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 09/09/2013 e aprovado em 28/12/2013.

<sup>2</sup> INCAPER - Centro Serrano, BR 262, Km 94, CEP: 29375-000, Venda Nova do Imigrante - ES. jacimarsouza@incaper.es.gov.br. Bolsista de produtividade do CNPq.

<sup>3</sup> CCA-UFES - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, 29.500-000, Alegre-ES. gabryelpg@yahoo.com.br.



*stocks. In 8 years, the stock of carbon in the system with organic fertilizer increased by 20.5%, from 38.5 t.ha<sup>-1</sup> in 1991 to 46.4 t.ha<sup>-1</sup> COT in 1999, while the system with mineral fertilizer decreased by 38.2%, from 33.0 t.ha<sup>-1</sup> to 20.4 t.ha<sup>-1</sup>. The data show that systems submitted to organic fertilizers are more resilient as the carbon losses. The accumulation of carbon in eight years showed that there was a gain of approximately 7.9 t.ha<sup>-1</sup> of COT with organic fertilizer, which corresponds to a sequestration or avoided emissions of 29.0 t.ha<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub>-equivalent. The loss of 12.6 t.ha<sup>-1</sup> COT system with mineral fertilizer corresponded to an emission of 46.6 t.ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-equivalent. Organic fertilizer, isolated or associated with mineral fertilizer, helped to correct acidity and phosphorus in elevation and soil base. Yields of potatoes and corn were similar in the three fertilizers, which had higher yields than the system without fertilization. For growing cabbage, organic fertilization showed average yields similar to mineral fertilization. The highest yields were obtained with combined use of organic manure with minerals.*

*Keywords: carbon sequestration, global warming, organic agriculture, organic matter.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente é fundamental o desenvolvimento de tecnologias que possam tornar a propriedade agrícola sustentável, do ponto de vista da preservação dos recursos naturais, com rendimentos produtivos adequados. Nesse contexto se insere uma das mais recentes preocupações da comunidade científica: viabilizar a produção de alimentos, respeitando a dinâmica do carbono em sistemas agrícolas, com vistas a manter o estoque desse elemento no solo, visando reduzir emissões de CO<sub>2</sub>.

O solo é o principal reservatório de carbono em um ecossistema (Novais et al., 2007). 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 pela agricultura, geralmente ocorre redução no seu teor (Cardoso et al., 2005; Rangel et al., 2007).

Cerri & Cerri (2007) reportam que o solo se constitui num compartimento chave no processo de emissão e sequestro de carbono, pois existem 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 gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Isto demonstra o grau de importância que manejos ecológicos de solos representam para o planeta atualmente.

A agricultura orgânica pode ser uma estratégia de manejo para sequestrar ao invés de emitir carbono do solo. Sistemas de produção que utilizam práticas de reciclagem de matéria orgânica, associadas a práticas agroecológicas, confirmaram elevado potencial para

sequestro de carbono atmosférico, elevando o carbono orgânico do solo e reduzindo emissão de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito estufa (Souza et al., 2012).

Um trabalho de longa duração realizado durante 16 anos, entre 1984 e 2000, avaliando sistemas de adubação mineral associados à aplicação de composto orgânico, comprovou que sistemas de produção que utilizam adubação orgânica de forma contínua e cumulativa, apresentaram maior estoque de carbono quando comparados a sistemas sem adubação ou com adubação mineral, confirmando ser a adubação orgânica uma alternativa eficaz para a melhoria da qualidade do solo (Leite et al., 2003). Avaliando o comportamento produtivo do milho nestes sistemas de adubação de forma contínua após 13 anos, Maia & Cantarutti (2004) concluíram que a adubação orgânica aumentou a produtividade do milho de forma mais acentuada do que com adubação mineral.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de sistemas de adubação orgânica e mineral sobre o estoque de carbono, na fertilidade do solo e no desempenho produtivo de hortaliças, durante oito anos de rotação de culturas.

## 2. MATERIALE MÉTODOS

Este estudo foi realizado numa área experimental localizada no Centro Regional de Desenvolvimento Rural - CRDR-CS, do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, na região serrana do estado do Espírito Santo, numa altitude de 950 m, no município de Domingos Martins/ES. Nesta região, a temperatura média das máximas nos meses mais quentes está entre 26,7 e 27,8°C e a média das mínimas nos meses mais frios entre 8,5 e 9,4°C.



Este experimento foi realizado no período de 1991 a 1999, num delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições e as parcelas foram instaladas em faixas de solo permanentes, com 25 m de comprimento por 4 m de largura, totalizando 100 m<sup>2</sup>. As parcelas foram demarcadas e isoladas com chapas galvanizadas de 60 cm de largura, enterradas até 40 cm de profundidade. Os sistemas de adubação foram: T1. Composto orgânico - CO (15 t ha<sup>-1</sup>, peso seco); T2. Composto orgânico - CO (15 t ha<sup>-1</sup>, peso seco) + Adubação mineral - AM (conforme análise); T3. Adubação mineral - AM (conforme análise); e T4. Testemunha (sem adubação).

A adubação orgânica com composto foi realizada de forma localizada, em covas para as culturas da batata e repolho, e em sulcos para a cultura do milho verde. Utilizou-se a dosagem fixa padrão de 15 t ha<sup>-1</sup> (peso seco) por cultivo, para todas as espécies no momento do plantio.

Na adubação mineral foram utilizadas as análises de solo dos respectivos tratamentos (T2 e T3) para calcular as correções e adubações minerais com sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, para cada cultura, conforme as recomendações de adubação e correção do solo para o estado do Espírito Santo.

No tratamento testemunha (sem adubação) não foram usadas qualquer fonte de adubo, expressando-se apenas o potencial de nutrição das plantas pela reserva mineral do solo.

A produção de composto foi realizada pelo método 'indore', em pilhas estáticas com reviramentos periódicos, utilizando-se recursos locais, constituído predominantemente de biomassa triturada de capim cameron, palha de café e esterco de aviário. Foram formadas dez pilhas de composto orgânico as quais foram utilizadas sucessivamente durante o período experimental (Tabela 1).

Nas três primeiras pilhas utilizou-se fosfato natural para enriquecimento do composto, na base de 3 kg para cada m<sup>3</sup> no momento do empilhamento, conforme se confirma nos teores de P apresentados. Entretanto, devido ao grande aumento dos teores de fósforo no solo, não mais se aplicou fosfato natural na confecção dos demais compostos, a partir da pilha 4. As análises dos nutrientes foram realizadas utilizando-se o método

de digestão sulfúrica, com posterior destilação de kjeldahl para o nitrogênio; digestão nitroperclórica para os demais macro e micronutrientes, à exceção do boro que foi extraído via calcinação, sendo dosado por colorimetria.

Foi realizada uma rotação de culturas com batata (cv. Baraka), repolho (cv. Kenzan) e milho verde (cv. EMCAPA-202). Os tratamentos culturais empregados foram padronizados em todos os tratamentos, conforme as recomendações técnicas de cada espécie, diferenciando-se apenas nas adubações de solos previamente estabelecidos em cada um.

A sucessão cultural foi composta por quatro plantios de batata (1992, 1993, 1994 e 1995), seis plantios de repolho (1993, 1994, 1995, 1996, 1997 e 1998) e três plantios de milho verde (1992/93, 1994/95 e 1996/97), conforme detalhado na Tabela 2.

No estudo do estoque de carbono do solo foi avaliado o efeito dos sistemas de adubação sobre os teores de matéria orgânica do solo, na camada de 0 a 20 cm, permitindo quantificar o carbono total do solo (COT) (Yeomans & Bremner, 1988). O estoque de COT na camada de 0 a 20 cm foi calculado através da expressão: estoque (Mg ha<sup>-1</sup>) = teor de COT (g kg<sup>-1</sup>) x Ds x E/10, em que Ds = densidade do solo na profundidade (kg dm<sup>-3</sup>) e; E = espessura da camada de solo (cm). De dois em dois anos os acúmulos foram obtidos relacionando-se os valores bianuais em relação ao ano inicial de 1991. A estimativa de sequestro ou emissão de CO<sub>2</sub>-equivalente foi realizada, considerando o fator de conversão do C para CO<sub>2</sub> de 3,666 (massa molar do CO<sub>2</sub>/massa molar do C = 44/12), segundo o guia de metodologia geral proposto pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006).

Na avaliação da fertilidade do solo foram determinados, segundo EMBRAPA (1997), o pH em H<sub>2</sub>O na relação 1:2,5 (solo:água); P disponível: extrator Mehlich<sup>-1</sup> e determinação por colorimetria; K: extrator Mehlich<sup>-1</sup> e determinação por espectrofotometria de chama; Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>: extrator KCl 1 mol.L<sup>-1</sup> e determinação por espectrometria de absorção atômica.

Visando a possibilidade do alcance de sustentabilidade plena, onde se preserva as características do solo, quanto a estoque de carbono e fertilidade, mas com rendimentos comerciais competitivos ao mercado, foram monitorados os rendimentos comerciais das culturas durante todo período do trabalho.



Tabela 1 - Composição média das dez pilhas de compostos orgânicos produzidos de 1991 a 1998. Domingos Martins, INCAPER, 2012

Compostos	M.O.		pH	Macro (dag kg <sup>-1</sup> )					Micro (mg kg <sup>-1</sup> )				
	(dag kg <sup>-1</sup> )	C/N		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	B
Pilha 1	44	12/1	-	2,2	1,9	1,1	10,0	1,0	70	161	15000	833	37
Pilha 2	52	16/1	7,5	1,9	2,5	1,2	9,0	2,5	54	188	14732	1042	46
Pilha 3	38	16/1	7,1	1,4	1,8	0,7	8,0	0,5	57	216	23438	1039	17
Pilha 4	57	19/1	7,9	1,7	1,4	1,4	5,1	0,5	40	152	13125	713	16
Pilha 5	48	16/1	7,3	1,7	1,4	0,8	4,8	0,4	40	206	19609	779	18
Pilha 6	66	16/1	7,2	2,4	0,9	1,7	3,2	0,5	34	127	13359	632	20
Pilha 7	55	14/1	-	2,2	1,1	0,8	2,9	0,6	41	118	7643	879	4
Pilha 8	48	16/1	-	1,7	1,0	0,7	3,2	0,6	41	125	1943	879	1
Pilha 9	50	16/1	7,9	1,8	0,5	1,8	5,9	0,7	168	208	19541	623	25
Pilha 10	47	19/1	7,0	1,4	0,5	0,7	3,6	0,5	46	148	19520	732	20

Tabela 2 - Sequência de plantios realizados durante os 8 anos de rotação. Domingos Martins, INCAPER, 2012

Anos	Culturas	Plantio	Colheita
1992	batata	11/06/92	17/09/92
	Milho verde	16/10/92	22/01/93
1993	Batata	20/04/93	20/07/93
	Repolho	19/08/93	16/11/93
1994	Batata	12/04/94	22/07/94
	Repolho	28/07/94	03/11/94
1995	Milho verde	02/12/94	10/03/95
	Batata	07/04/95	28/07/95
	Repolho	05/08/95	06/11/95
1996	Pousio	-	-
	Repolho	12/05/96	10/08/96
1997	Milho verde	13/11/96	20/02/97
	Repolho	14/04/97	18/07/97
1998	Pousio	-	-
	Repolho	18/03/98	17/06/98

Foram realizadas análises estatísticas para os dados dos teores de matéria orgânica, do estoque de carbono e dos atributos químicos do solo utilizando-se teste de F e análise de regressão e escolhendo-se o modelo com base na significância dos coeficientes e no valor de R<sup>2</sup>. Para os dados de rendimento das espécies foram feitas análises de variância e teste de médias. Para tal, utilizou-se o promagra Sisvar (Ferreira, 2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1A, 1B e 1C mostram a evolução do teor de matéria orgânica, estoque e acúmulo de carbono, respectivamente, nos quatro tratamentos avaliados ao longo dos oito anos. Observou-se ajuste linear de crescimento desses atributos para os tratamentos com

adubação orgânica com composto e associação deste com adubação mineral (Tabela 3).

Por outro lado, o decréscimo verificado na matéria orgânica, estoque e acúmulo carbono para os tratamentos com adubos minerais e sem adubação, foram significativos pelo teste F, com ajuste ao modelo linear (Tabela 3). De forma semelhante, Leite et al. (2003) estudando sistemas de adubação com composto e adubo mineral 4-14-8, em parcelas marcadas no tempo por 16 anos, verificaram que o uso do composto proporcionou aumento de COT, comparado aos sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral.

Baseado nas adubações com 15 t ha<sup>-1</sup> por cultivo (peso seco), os 13 plantios realizados após oito anos totalizaram um aporte de 195 t ha<sup>-1</sup> de composto,



equivalente a 97,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria orgânica, que corresponde a 56,6 t ha<sup>-1</sup> de carbono. Em geral, a maior parte deste aporte foi emitida para a atmosfera na forma de gases, pela decomposição acelerada devido ao manejo intensivo do solo durante os anos de cultivo empregados. Entretanto, foi observado maiores teores de COT onde se realizou adubação orgânica. Essa observação é corroborada pelos relatos de Jenkinson (1991), citado por Leite *et al.* (2003), onde num experimento de longa duração na estação de Rothamsted/ Inglaterra, o uso de apenas 3 t ha ano<sup>-1</sup> de esterco, por mais de cem anos, aumentou o estoque de carbono do solo. Por outro lado, a adubação mineral isolada (T3) e o sistema sem adubação (T4) apresentaram alto nível de emissão das reservas de carbono do solo (Figura 1C).

Em um hectare, na camada de 0 a 20 cm, o estoque de carbono estimado no sistema com adubação orgânica elevou-se de 38,5 t em 1991 para 46,4 t de COT em 1999 (aumento de 20,5%), enquanto no sistema com adubação mineral, o estoque de carbono estimado reduziu de 33,0 t para 20,4 t (redução de 38,2%), durante o mesmo

período (Tabela 3 e Figura 1B). Isto comprova que sistemas submetidos à adubações orgânicas são mais tamponados quanto a perdas de COT, de forma similar aos resultados relatados por Jenkinson (1991), Kapkiyai *et al.* (1999) e Kanchikerimath & Singh (2001), citados por Leite *et al.* (2003).

A análise do acúmulo de carbono estimado nestes tratamentos demonstrou que houve um ganho aproximado de 7,9 t de COT com a adubação orgânica, o que corresponde a um sequestro ou emissão evitada de 29,0 t de CO<sub>2</sub>-equivalente, concordando com estudos de Swift (2001). A perda de 12,6 t de COT no sistema com adubação mineral, corresponde a uma emissão de 46,6 t CO<sub>2</sub>-equivalente (Tabela 3 e Figura 1C).

Souza *et al.* (2012), estudando 12 unidades de solo sob manejo orgânico à base de compostagem, no período de dez anos, obtiveram um acréscimo no estoque de carbono do sistema, na camada de 0 a 40 cm de profundidade, elevando-se de 34,6 t ha<sup>-1</sup> para 58,2 t ha<sup>-1</sup>, identificando assim uma fixação correspondente a 23,6 t ha<sup>-1</sup> de COT e 86,6 t ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>-equivalente.

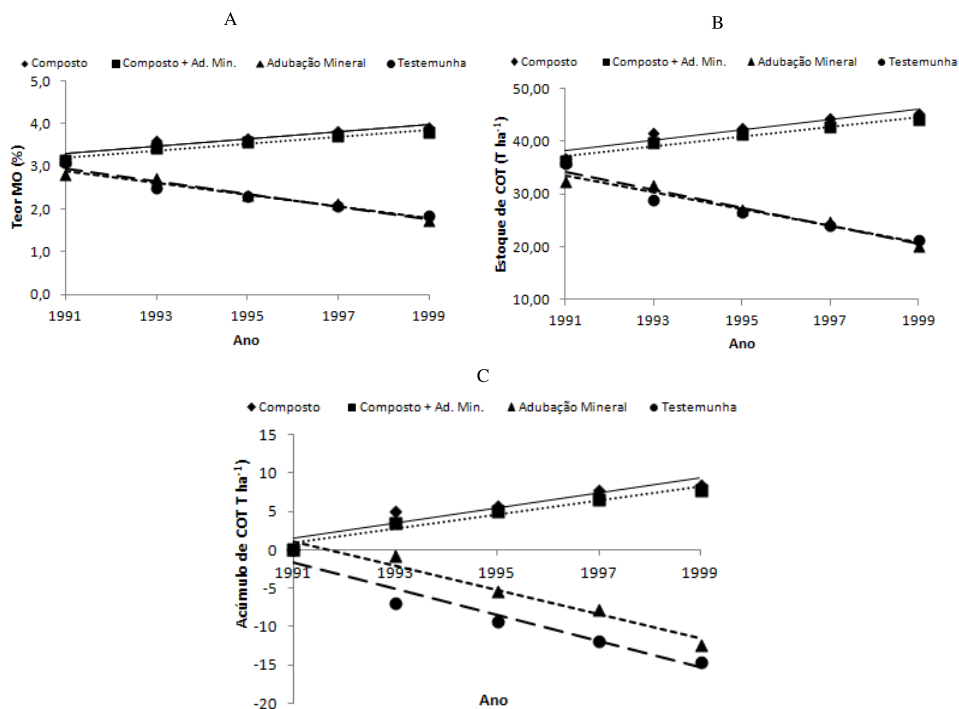


Figura 1 - Evolução do teor de matéria orgânica nos solos (A), estoque de carbono (B) e acúmulo de carbono (C), em sistemas de adubação orgânica e mineral – 1991 a 1999. Domingos Martins, INCAPER, 2012.





Tabela 3 - Equação de regressão da matéria orgânica (MO), do estoque de carbono (ESTC), acúmulo de C e dos atributos químicos do solo, em sistemas de adubação orgânica e mineral a partir de 1991 a 1999. Domingos Martins, INCAPER, 2012

Variável	Sistema de manejo	Equação da regressão	R <sup>2</sup>
MO	CO	$\hat{y} = -165,94^{*}+0,085^{*}X$	0,87
	CO+AM	$\hat{y} = -156,07^{**}+0,08^{**}X$	0,95
	AM	$\hat{y} = 296,29^{**}-0,147^{**}X$	0,94
	T	$\hat{y} = 275,00^{**}-0,137^{**}X$	0,96
ESTC	CO	$\hat{y} = -1920,6^{*}+0,984^{*}X$	0,87
	CO+AM	$\hat{y} = -1806,4^{**}+0,926^{**}X$	0,95
	AM	$\hat{y} = 3182,8^{**}-1,582^{**}X$	0,96
	T	$\hat{y} = 3429,3^{**}-1,705^{**}X$	0,94
Acúmulo C	CO	$\hat{y} = -1957,3^{*}+0,984^{*}X$	0,87
	CO+AM	$\hat{y} = -1842,7^{*}+0,926^{*}X$	0,95
	AM	$\hat{y} = 3150,4^{**}-1,582^{**}X$	0,96
	T	$\hat{y} = 3393,4^{**}-1,705^{**}X$	0,94
pH	CO	$\hat{y} = -142416^{*}+142,64^{*}X -0,036^{*}X^2$	0,79
	CO+AM	$\hat{y} = -256,03^{*}+0,13^{*}X$	0,80
	AM	$\hat{y} = 220189,33^{**}-220,81^{**}X+0,055^{**}X^2$	0,93
	T	$\hat{y} = -159,96^{**}+0,083^{**}X$	0,99
Fósforo	CO	$\hat{y} = -4E^{10^{*}}+6E^{7^{*}}X-29123^{*}X^2+4,9^{*}X^3$	0,84
	CO+AM	$\hat{y} = -5E^{7^{**}}+46305,13^{**}X -11,59^{**}X^2$	0,89
	AM	$\hat{y} = -6395,05^{*}+3,21^{*}X$	0,77
	T	$\hat{y} = \bar{y}$	-
Potássio	CO	$\hat{y} = -2E^{10^{*}}+4E^{7^{*}}X -17835^{*}X^2+2,98^{*}X^3$	0,84
	CO+AM	$\hat{y} = -2E^{10^{*}}+3E^{7^{*}}X-13283^{*}X^2+2,22^{*}X^3$	0,90
	AM	$\hat{y} = 7E^{6^{*}}-7264,4^{*}X+1,82^{*}X^2$	0,77
	T	$\hat{y} = 1E^{7^{*}}-11614^{*}X+2,91^{*}X^2$	0,91
Cálcio	CO	$\hat{y} = -602,94^{*}+0,30^{*}X$	0,57
	CO+AM	$\hat{y} = -597754^{*}+606^{**}X-0,15^{**}X^2$	0,91
	AM	$\hat{y} = \bar{y}$	-
	T	$\hat{y} = \bar{y}$	-
Magnésio	CO	$\hat{y} = -2E^{8^{*}}+311189^{**}X-155,92^{**}X^2+0,025^{**}X^3$	0,91
	CO+AM	$\hat{y} = -2E^{8^{*}}+273833^{**}X-137,21^{**}X^2 +0,023^{**}X^3$	0,88
	AM	$\hat{y} = 90131,35^{*}-90,30^{*}X+0,023^{*}X^2$	0,88
	T	$\hat{y} = 90,7^{*}-0,045^{*}X$	0,65

CO=Composto Orgânico; AM=Adubação Mineral; T=Testemunha sem adubação \* = significativo a 5%; \*\* = significativo a 1%, pelo teste F.

Os valores de pH do solo sofreram interferência significativa nos quatro sistemas estudados (Tabela 3). O uso da adubação orgânica, além das conhecidas propriedades enriquecedoras da fertilidade do solo, possui também elevada capacidade corretiva, visto que as faixas de solo adubadas com composto orgânico, isolada ou associada a adubos minerais, rapidamente atingiram valores de pH próximos à neutralidade, com ajuste quadrático para o composto e linear para o composto mais adubos minerais. A decomposição do material orgânico aplicado contribui com o fornecimento de nutrientes ao solo. Esses nutrientes, grande parte bases, diminuem a atividade do H<sup>+</sup> na solução do solo o que pode aumentar o pH. Este aumento também pode

estar relacionado à decomposição dos resíduos orgânicos que fornecem ânions orgânicos que consomem H<sup>+</sup> (Novais et al., 2007).

No sistema sem adubação (testemunha), o pH estimado elevou-se 0,5 unidades com os anos de cultivo (Figura 2A). O modelo linear se ajustou aos dados (R<sup>2</sup>=0,99) e apresentou coeficiente significativo a 1%. Nas parcelas adubadas apenas com adubo mineral, houve acidificação do solo, reduzindo o pH estimado de 5,82 para 5,20 em quatro anos. Por este motivo, as parcelas do tratamento 3 necessitaram correção com calcário dolomítico, na base de 2 t ha<sup>-1</sup>, aplicado em 05/12/95, conforme se verifica no comportamento dos valores de pH, que se elevaram novamente a partir



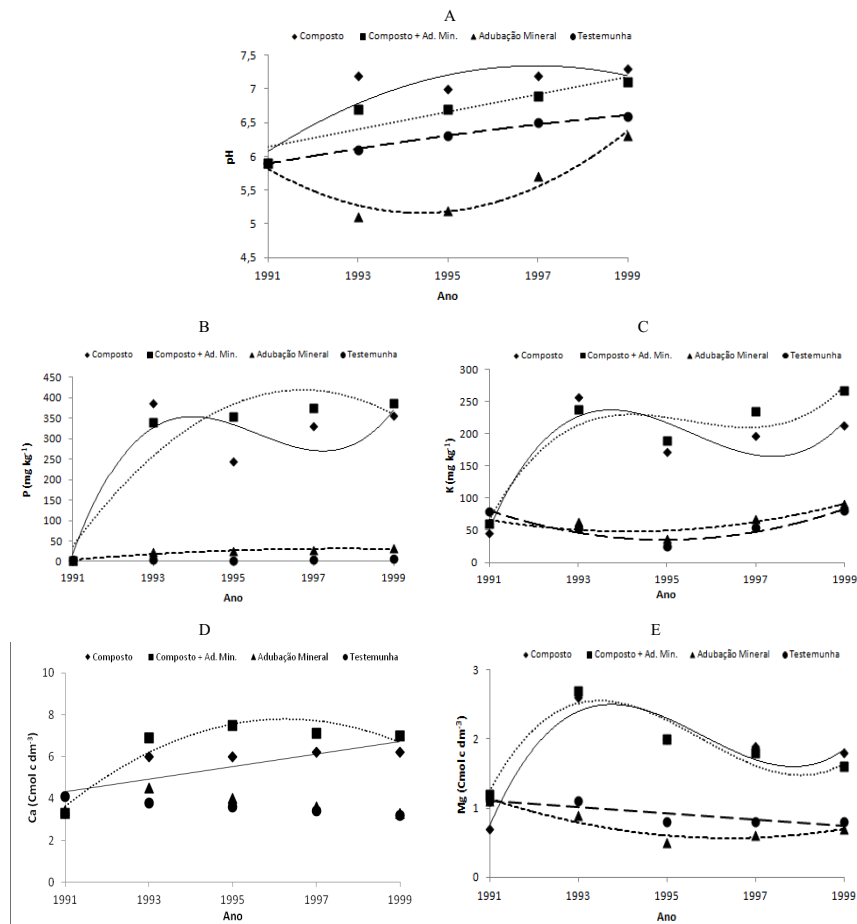


Figura 2 - Atributos químicos do solo em sistemas de adubação orgânica e mineral – 1991 a 1999: pH do solo (A); fósforo (B); potássio (C); cálcio (D) e magnésio (E). Domingos Martins, INCAPER, 2012

de 1996, atingindo 6,34 em 1999 (Figura 2A). Esse foi o motivo do ajuste dos dados ao modelo quadrático. Estes dados se assemelham aos obtidos por Marchi (2006) no cultivo de alface americana. Quando o adubo foi apenas de fonte mineral, a prática de correção de acidez foi essencial para propiciar maior crescimento da cultura.

Os níveis de Fósforo elevaram-se expressivamente nos tratamentos submetidos à adubação orgânica. Quando utilizada de forma isolada, o modelo cúbico melhor explica a evolução dos teores (Figura 2B e Tabela 3). Este comportamento é devido à elevação rápida dos teores de P nos dois primeiros anos (reflexo do enriquecimento com fosfato natural usado nas três primeiras pilhas de composto), com posterior queda dos teor médio estimado no ano de 1997. A queda dos

teores de P no ano de 1997 pode estar relacionada ao cultivo do solo até 06/11/1995. A partir desta data, o solo se manteve em pousio até 12/05/1996, não sendo realizada adubação e cultivo neste período (Tabela 2). Aliado a falta de adubações, estes seis meses de pousio em época de verão chuvoso pode ter fornecido condições para que o P orgânico seja reduzido. Quando se retomou o cultivo e consequentemente as adubações os teores de P voltaram a se elevar. Esse comportamento justifica a escolha do modelo cúbico ( $R^2 = 0,84$ ) para o tratamento com composto orgânico que apresentou seus coeficientes significativos e mostra o dinamismo do solo quando submetido a diferentes manejos e cultivos durante os oito anos de experimentação.

No sistema de adubação orgânica associada à mineral, o crescimento do teor de fósforo apresentou



progressão quadrática ( $R^2 = 0,89$ ) e coeficientes significativos (Figura 2B e Tabela 3). O modelo cúbico foi que apresentou melhor ajuste, entretanto, seus coeficientes não foram significativos. Nos sistemas com adubação mineral os valores de P apresentaram elevação muito pequena, com melhor ajuste ao modelo linear ( $R^2 = 0,77$ ) que mostrou coeficientes significativos. Já o sistema sem adubação, os teores de fósforo pouco alteraram com os anos e não se ajustaram a nenhum modelo (Figura 2B e Tabela 3).

Os teores de potássio (Figura 2C) e magnésio (Figura 2E) apresentaram dinâmica similar ao do fósforo nos tratamentos que se realiza adubação orgânica. Dessa forma, o modelo cúbico foi aquele que apresentou melhor ajuste e coeficientes significativos. Da mesma forma que ocorreu para o P, no ano de 1995/96 ocorreram reduções dos teores estimados de K e Mg nos tratamentos que se aplica composto orgânico. Essa redução podem estar relacionada aos seis meses de pousio e a falta de adubações nesta época de verão chuvoso, o que pode ter fornecido condições para a lixiviação desses nutrientes. Esses dados mostram que o sistema orgânico de produção é mais sensível em detectar mudanças nos atributos químicos do solo, uma vez que os teores de nutrientes nos sistemas orgânicos foram superiores em relação ao mineral e testemunha. Corroborando com a presente pesquisa,

Silva & Menezes (2007) relataram aumento dos teores de P e K do solo após adubação orgânica com esterco em plantios anuais com batata no período de 1996 a 2002.

O cálcio apresentou progressão linear significativa no sistema com adubação orgânica isolada e progressão quadrática no sistema de adubação orgânica associada à adubação mineral, ocorrendo pequena redução do teor de cálcio a partir de 1997, (Figura 2D e Tabela 3). Já os tratamento sem adubação e com adubação mineral não se ajustaram a nenhuma equação de regressão, apresentando pequena variação no tempo.

Os dados demonstram que a adubação orgânica e/ou orgânica associada à adubação mineral são suficientes para manter altos níveis de nutrientes no solo. Palm (2001) e Silva et al. (2005), citados por Silva & Menezes (2007), mostraram que a aplicação de adubos orgânicos ao longo do tempo aumentam os estoques de nutrientes do solo, evidenciando também a importância da adubação orgânica para obtenção de maior produtividade.

De maneira geral, observou-se um comportamento diferenciado das três espécies em resposta aos sistemas de adubação acumulada, comprovando a necessidade de analisar a nutrição das plantas conforme as características individuais de cada espécie.

Tabela 4 - Rendimentos comerciais de batata, repolho e milho verde, em sistemas de adubação orgânica e mineral – 1992 a 1998. Domingos Martins, INCAPER, 2012

Tratamento	(A) - Rendimento comercial de tubérculos de batata (kg ha <sup>-1</sup> )					Média	
	1992	1993	1994	1995			
CO	27.146 A	5.727 B	4.060 A	11.057 A		11.998 A	
CO + AM	27.092 A	7.113 A	3.383 B	11.623 A		12.303 A	
AM	27.067 A	5.883 B	2.800 C	8.854 B		11.151 A	
T	17.119 B	3.540 C	2.733 C	4.790 C		7.046 B	
Tratamento	(B) - Rendimento comercial de cabeças de repolho (kg ha <sup>-1</sup> )						
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Média
CO	32.073 B	41.887 B	39.423 B	62.961 A	61.636 A	58.877 A	49.476 B
CO + AM	52.917 A	77.287 A	52.673 A	62.171 A	54.050 A	71.321 A	61.736 A
AM	48.697 A	72.493 A	58.567 A	62.329 A	48.697 B	45.359 B	56.023 A
T	9.910 C	6.567 C	5.517 C	15.450 B	8.415 C	10.967 C	9.471 C
Tratamento	(C) - Número de espigas comerciais de milho verde por ha				Média		
	1992/93	1994/95	1996/97				
CO	39.767 A	16.667 B	32.800 A		29.744 A		
CO + AM	44.467 A	29.500 A	36.800 A		36.922 A		
AM	40.833 A	19.600 B	27.300 B		29.244 A		
T	33.633 B	1.700 C	18.300 C		17.878 B		

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de SCOTT-KNOTT a 5% de probabilidade.





A análise conjunta dos dados produtivos dos quatro plantios de batata realizados nos anos de 1992, 1993, 1994 e 1995 revelaram que a produtividade comercial média de tubérculos nesses quatro anos foi inferior apenas na testemunha (T4), que não recebeu adubação ao longo dos anos. As demais formas de adubação orgânica e mineral proporcionaram produtividades médias semelhantes (Tabela 4A).

Comparando-se as adubações isoladas com composto orgânico (T1) com a adubação mineral (T3), verificam-se produtividades semelhantes nos dois primeiros cultivos (1992 e 1993). Entretanto, no 3º e 4º cultivo os maiores rendimentos ocorreram nas parcelas adubadas com composto orgânico. Na média geral, verificou-se que as adubações orgânicas e minerais, isoladas ou associadas, são opções adequadas para o manejo da adubação para a batata.

A avaliação conjunta dos seis cultivos de repolho realizados entre os anos de 1993 e 1998 revelaram diferenças significativas na média geral de produtividade entre os tratamentos com adubação orgânica e mineral, isoladas ou associadas (Tabela 4B). A adubação orgânica apresentou rendimentos médios inferiores em relação à adubação mineral nos anos de 1993 a 1995. Entretanto, a partir de 1997 observou-se o inverso, isto é, o manejo orgânico apresentou maiores rendimentos, o que demonstra que os benefícios das adubações orgânicas ocorrem de médio a longo prazo. A degradação biológica do solo, causada pelo emprego isolado de adubos minerais, provavelmente foram as responsáveis pela diminuição da produtividade deste tratamento ao longo dos anos (Figura 3).

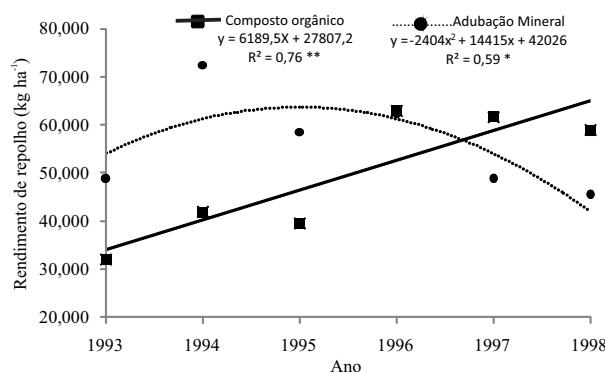


Figura 3 - Evolução do rendimento comercial de cabeças de repolho em sistemas de adubação, de 1993 a 1998. Domingos Martins, INCAPER, 2012

Contudo, da mesma forma que se observou para a batata, nos cultivos do repolho, a associação da adubação orgânica e mineral apresentou rendimentos semelhantes ou superiores que os manejos isolados, demonstrando ser a melhor alternativa do manejo da adubação. O tratamento testemunha (sem adubação) revelou rendimentos significativamente menores que os sistemas adubados, indicando que a fertilidade natural do solo contribuiu com uma produtividade média de 9.471 kg ha<sup>-1</sup> de cabeças comerciais (Tabela 4B).

As médias de rendimento de milho verde, verificadas na avaliação conjunta dos três plantios no período de 1992 a 1997, revelaram que as reservas naturais do solo contribuíram com aproximadamente 50% do rendimento de espigas comerciais (Tabela 4C). Os rendimentos de espigas não diferiram estatisticamente entre os três sistemas de adubação, os quais foram significativamente superiores ao sistema não adubado. Entretanto, da mesma forma que se observou na cultura da batata e repolho, o uso conjunto de composto orgânico e adubos minerais para a cultura do milho verde revelou tendência de ser a alternativa mais eficaz no manejo da adubação. Estes dados diferenciam-se daqueles obtidos por Maia & Cantarutti (2004) com a cultura do milho após 13 anos de cultivos sucessivos, em que adubação orgânica aumentou a produtividade do milho de forma mais acentuada do que com adubação mineral. Isto pode ter ocorrido devido ao padrão de resíduos usados na compostagem, que foi constituída da mistura de palhas de feijão e soja, misturadas ao esterco, materiais estes ricos em N, que favorecem a nutrição do milho.

#### 4. CONCLUSÕES

Sistemas submetidos à adubações orgânicas são mais tamponados quanto a perdas de carbono do solo.

As adubações orgânicas, isoladas ou associadas ao adubo mineral auxiliam na correção da acidez e na elevação do fósforo e das bases do solo.

As produtividades de batata e milho foram similares nos três sistemas de adubação e maiores que no sistema sem adubação. Para a cultura do repolho, a adubação orgânica foi similar à adubação mineral exclusiva, mas inferior à adubação orgânica associada à mineral.

O rendimento comercial do repolho ao longo dos anos demonstrou acréscimo com a adubação orgânica exclusiva e decréscimo com a adubação mineral exclusiva.



## 5. AGRADECIMENTOS

Ao INCAPER, por viabilizar apoio financeiro e logístico a este estudo científico de longa duração. À EMBRAPA, pelo apoio financeiro ao trabalho nos quatro primeiros anos de sua execução.

## 6. LITERATURA CITADA

- CARDOSO, I.M.; SOUZA, H.N.; MENDONÇA, E.S. Biodiversidade, recurso genético e cuidados fitossanitários. **Revista Ação Ambiental**, v.31, p.18-20, 2005.
- CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. **Agricultura e aquecimento global**. Disponível em <http://www.arruda.rits.org.br/oeco/reading/pdf>. Acesso em 10 de junho de 2007.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR software: versão 4.6**. Lavras: UFLA/DEX, 2007. Software.
- IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme. EGGLESTEON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K. et al. (Eds.). Japan: IGES, 2006.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.
- MAIA, C.E.; CANTARUTTI, R.B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua, na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.39-44, 2004.
- MARCHI, E.C.S. **Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo**. Lavras: UFLA, 2006. 46p. (Tese doutorado).
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.A.V.; BARROS, N.F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 820p.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARAES, P.T.G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1341-1353, 2007.
- SILVA, T.O. da; MENEZES, R.S.C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, crotalaria juncea. II - disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.51-61, 2007.
- SOUZA, J.L. de; PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, M.A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Revista Idesia**, v.30, p.07-15, 2012.
- SOUZA, J.L. de; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2.ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 843p.
- SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, v.166, p.858-871, 2001.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

