



Apresentação

O setor agrícola, responsável pelo fornecimento de alimentos, fibras, madeira e pela geração de empregos e divisas, possui também importante papel na prestação de serviços ambientais, com destaque para a conservação dos recursos hídricos, da flora, da fauna e dos solos.

É importante que a sociedade e o Estado reconheçam e incentivem boas práticas de manejo e invistam em inovações tecnológicas e de gestão, com o objetivo de promover o uso mais racional dos recursos naturais, sobretudo os não renováveis.

A gestão ambiental constitui uma importante ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisão, visando o planejamento de ações em diversas escalas, tanto em nível de propriedade rural, como de bacia hidrográfica. Essa gestão é estratégica para enfrentar o atual processo de intensificação das mudanças climáticas e a volatilidade de mercados.

Este número do Informe Agropecuário traz uma avaliação sobre o atual modelo de produção, sobre os impactos socioambientais advindos desses sistemas e apresenta alternativas de gestão e manejo. Discorre ainda sobre iniciativas para o pagamento de serviços ambientais em curso no País e apresenta não só tecnologias para minimizar impactos negativos, mas também metodologias para o monitoramento e a avaliação do desempenho socioambiental de propriedades.

*José Mário Lobo Ferreira
Madelaine Venzon*

Informe Agropecuário

Uma publicação da EPAMIG

v.30 n.252 set./out. 2009

Belo Horizonte-MG

Sumário

Editorial	3
Entrevista	4
Agroecologia: reconciliando agricultura e natureza	
<i>Paulo Frederico Petersen, Jean Marc von der Weid e Gabriel Bianconi Fernandes</i>	7
Pagamento por serviços ambientais: alternativa para efetivação da proteção ambiental em propriedades rurais	
<i>Mariana Barbosa Vilar, Laércio Antônio Gonçalves Jacovine e Agostinho Lopes Souza</i>	16
Estratificação de ambientes para gestão ambiental	
<i>Maurício Roberto Fernandes e Soraya Marx Bamberg</i>	24
Indicador integrado de sustentabilidade de gestão ambiental de bacias hidrográficas e sua aplicação	
<i>Henrique Marinho Leite Chaves</i>	34
Modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais: uma proposta de ferramenta para a gestão ambiental	
<i>Eduardo de Sá Mendonça, Luiz Fernando Carvalho Leite e Beno Wendling</i>	40
Práticas ecológicas no manejo fitossanitário	
<i>Trazilbo José de Paula Júnior, Madelaine Venzon, Hudson Teixeira e Angelo Pallini</i>	51
Gerenciamento de efluentes na aquicultura e aproveitamento de água residuária do processamento do café	
<i>Alexmiliano Vogel de Oliveira, Eduardo José Azevedo Corrêa, Sammy Fernandes Soares e Luiz Carlos de Prezotti</i>	60
Sistema de avaliação participativo de aspectos ambientais e produtivos em agroecossistemas com cafeeiros	
<i>José Mário Lobo Ferreira, Paulo César de Lima, Paulo Emílio Lovato e Waldênia de Melo Moura</i>	68
Indicadores de sustentabilidade, avaliação de impactos e gestão ambiental de atividades rurais	
<i>Geraldo Stachetti Rodrigues</i>	80
Avaliação do desempenho ambiental no uso de recursos na agricultura	
<i>Luiz Renato D'Agostini, Sandro Luis Schlindwein, Alfredo Celso Fantini e Sergio Roberto Martins</i>	91
Certificação socioambiental e a sustentabilidade almejada	
<i>Sérgio Pedini</i>	100

ISSN 0100-3364

Informe Agropecuário	Belo Horizonte	v.30	n.252	p. 1-104	set./out.	2009
----------------------	----------------	------	-------	----------	-----------	------

Modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais: uma proposta de ferramenta para a gestão ambiental

*Eduardo de Sá Mendonça¹
Luiz Fernando Carvalho Leite²
Beno Wendling³*

Resumo - A quantidade e a qualidade da matéria orgânica (MO) do solo estão associadas ao processo fotossintético. A ação antrópica de produção de alimentos e de biomassa vegetal tem grande influência sobre a MO do solo. O grande interesse da sociedade em manter ou aumentar a MO do solo e sequestrar carbono (C) requer ferramentas confiáveis para avaliar o impacto da atividade antrópica sobre as mudanças em seus estoques. Para que tenham valor prático para o produtor, para o empresário rural e para o profissional da assistência técnica, essas mudanças devem ser avaliadas em períodos relativamente curtos, auxiliando na tomada de decisão sobre a escolha de práticas de manejo mais sustentáveis. Contudo, as mudanças na MO do solo são de velocidade variada, dificultando sua utilização como indicadora da qualidade ambiental. A predição com base em modelos validados para simular a dinâmica de MO do solo é uma importante opção. O modelo Century é um dos mais utilizados e testados na região tropical e subtropical, apresentando resultados promissores em diversos agroecossistemas do estado de Minas Gerais e do Brasil. Com essa ferramenta, pesquisadores têm realizado previsões de sequestro e emissão de C em diferentes agroecossistemas, mostrando sua potencialidade em ser utilizado em programas de gestão ambiental da agricultura por técnicos de empresas público-privadas.

Palavras-chave: Simulação. Modelo matemático. Sequestro de carbono. Manejo do solo. Qualidade ambiental.

INTRODUÇÃO

O carbono (C) do solo é um importante componente do ecossistema terrestre, com estoque que varia de 1.115×10^9 a 2.200×10^9 t, maior que aquele estocado na vegetação (600×10^9 t). Nos oceanos e na atmosfera, há aproximadamente 39.000×10^9 t e 750×10^9 t, respectivamente (IPCC, 2008). O solo é um compartimento da su-

perfície terrestre com grande dinamismo de seus constituintes minerais e orgânicos e está ligado às características e processos que ocorrem na hidrosfera, litosfera, atmosfera e biosfera.

Os estoques de C do solo estão associados diretamente ao processo fotossintético que ocorre na biosfera. O C fixado pelos vegetais é o grande componente da matéria

orgânica (MO) do solo. Contribui com cerca de 58% da sua composição, que contém também oxigênio (33%), hidrogênio (6%), e nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (totalizando 3%). A fotossíntese, realizada pelos vegetais, é um processo importante na manutenção do equilíbrio de CO_2 na atmosfera e o ciclo do C e N na Terra. Os vegetais liberam compostos orgânicos no

¹Eng^a Agr^a, Pós-Doc, Prof. Associado UFES-Centro de Ciências Agrárias - Dep^{ta} Produção Vegetal, CEP 29500-000 Alegre-ES. Correio eletrônico: esmjplia@gmail.com

²Eng^a Agr^a, Pós-Doc, Pesq. Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220 Teresina-PI. Correio eletrônico: luizf@cpamn.embrapa.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof. UFU-Instituto de Ciências Agrárias, Campos Umarama, CEP 38400-902 Uberlândia-MG. Correio eletrônico: beno@iciag.ufu.br

solo por meio de resíduos da biomassa aérea e radicular, da liberação de exsudados radiculares, da lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e da transformação desses materiais carbonatados pelos macro e microrganismos do solo. Assim, a ação antrópica de produção de alimentos tem grande influência na dinâmica da MO do solo e nos seus efeitos sobre as características e propriedades do solo.

Considerando a diversidade de resíduos aportados ao solo, advindos do ambiente e os processos de decomposição/mineralização e interações MO - fração mineral, há ainda uma infinidade de compostos orgânicos, com diferentes propriedades químicas, físicas e biológicas. Portanto, para facilitar o estudo e a compreensão da dinâmica da MO do solo, estes componentes orgânicos podem ser separados em compartimentos ativo, lento e passivo.

O compartimento ativo é composto pela microbiota e MO solúvel do solo. Raramente ultrapassa o teor de 4% da MO total do solo. Os resíduos vegetais em diferentes estádios de decomposição compõem o compartimento lento, que contribui com cerca de 15%-25%. O compartimento passivo, normalmente relacionado com as substâncias orgânicas com maior tempo de ciclagem, contribui com cerca de 70% da MO total.

Estes compartimentos possuem tempos de ciclagem distintos e são influenciados pela atividade antrópica, como a agricultura, de forma diferenciada. Assim, a MO do solo pode ser considerada um indicador importante de qualidade do solo e de sustentabilidade de agroecossistemas (REEVES, 1997). O aumento nos seus estoques melhora a ciclagem de nutrientes, a agregação do solo, a permeabilidade e a capacidade de retenção de umidade e reduz o escoamento superficial e a erosão. Como componente central do balanço global do C, a MO do solo pode contribuir para o sequestro de CO₂ e a mitigação das mudanças climáticas (LAL, 2004).

Nesse sentido, a predição dos efeitos do clima, da composição atmosférica e das

mudanças no uso da terra sobre a dinâmica da MO do solo são essenciais na formulação de políticas agrícolas, ambientais e socioeconômicas. Os modelos de simulação podem ser utilizados para a otimização do entendimento do impacto daqueles efeitos sobre a dinâmica da MO do solo em programas de gestão ambiental. Com essas ferramentas, podem-se estimar mudanças climáticas, testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os impactos antrópicos sobre a qualidade do solo e do ambiente.

O grande interesse da sociedade em manter ou aumentar os estoques de MO do solo e sequestrar C requer ferramentas confiáveis para avaliar as mudanças ambientais. Para que tenham valor prático, tanto para o produtor, empresário rural, quanto para o profissional da assistência técnica, essas mudanças devem ser avaliadas em períodos relativamente curtos, que vão de alguns anos até, no máximo, uma década. No entanto, as mudanças na MO são de velocidade variada, dificultando a tomada de decisões, para se estabelecerem sistemas sustentáveis de manejo. Nesse sentido, a predição com base em modelos validados para simular a dinâmica da MO, a partir de experimentos de longa duração, torna-se opção importante. Para esse propósito, o modelo deve ser fácil de usar, com base em descrição teórica detalhada dos processos de dinâmica da MO do solo e conter variáveis que sejam fisicamente significativas e experimentalmente quantificáveis (CHENG; KIMBLE, 2001).

Muitos modelos têm sido usados para simular a dinâmica da MO em diversos agroecossistemas terrestres, podendo ser utilizados em escala local, regional, nacional ou continental. Este artigo tem como objetivo apresentar resultados associados ao uso da modelagem da dinâmica de MO em agroecossistemas tropicais. Referencia de que forma esses modelos podem ser aplicados na simulação do impacto da agricultura sobre a qualidade do solo e em programas de gestão ambiental.

MODELOS DE SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO) NO SISTEMA SOLO-PLANTA

Um modelo é um simulador de um sistema real. Os modelos são usados quando se quer integrar conhecimentos e realizar previsões de comportamentos que, na vida real, deveria esperar que acontecessem. Os modelos são úteis quando auxiliam na otimização de conhecimentos sobre os sistemas que representam. O monitoramento das mudanças de uma forma de C para outra e de um compartimento ambiental para outro tem sido usado como base para modelar a dinâmica das transformações da MO e os processos de ciclagem de C e nutrientes em diferentes agroecossistemas terrestres.

A origem dos modelos de simulação de dinâmica de MO, com uso de computador, ocorreu no início dos anos 70, com a criação dos modelos de ciclagem de C e N. Naquele período, associou-se C e N e relacionou-se os subprocessos de um sistema solo-cultura-nutriente em um modelo integrado. A partir de então, surgiram diversos modelos de dinâmica de MO do solo. Por causa da importância crescente da temática ambiental, nos anos 80 e 90, surgiram vários modelos de simulação agrícola, tais como o Ncsoil, Epic, Ceres, Century, Papran, RothC e Soiln (MOLINA et al., 1983; WILLIAM; RENARD, 1985; RITCHIE et al., 1985; PARTON et al., 1987; COLEMAN; JENKINSON, 1996). No século 21, com o advento da internet e o avanço da programação, a modelagem foi modificada e otimizada.

Os fluxos de C e nutrientes entre os compartimentos da MO formam a estrutura dos modelos de MO do solo. Cada compartimento é caracterizado pela sua posição na estrutura do modelo e pela sua taxa de decomposição/ciclagem. Via de regra, os modelos de simulação de MO do solo contêm equações e valores de variáveis de entrada considerados padrões, os quais foram estimados a partir de experimentos de longa duração. Isso é útil para

que o usuário possa realizar simulações preliminares, que aprimorem o conhecimento sobre os pressupostos do modelo. No entanto, para simulações específicas de um local, há a necessidade de realizar a calibração, ou seja, tentar estabelecer uma coincidência entre os dados observados e simulados pelo modelo, pela variação de seus parâmetros internos (JORGENSEN; BENDORICCHIO, 2001). Para isso, é preciso organizar uma base de dados referentes, principalmente, ao clima, ao solo, às culturas utilizadas e ao histórico da área, com o intuito de, inicialmente, alimentar o modelo. Geralmente, os dados climáticos são obtidos por meio de estações meteorológicas próximas aos ambientes que serão trabalhados. Para o solo, informações atuais e antigas, por exemplo, relativas ao pH, teor de C e de N totais, teores de areia, silte e argila e densidade do solo são requeridas. A biomassa da parte aérea aportada ao solo e a forma de incorporação dos resíduos culturais também servem como variáveis de entrada. As informações sobre as culturas estão associadas, na maior parte dos modelos, à produtividade máxima, ao índice de colheita e à composição química, como por exemplo, o teor de lignina. Além das variáveis de entrada, quantificadas ou obtidas por meio da literatura, o usuário pode modificar parâmetros das equações que controlam os fluxos de C, tornando-os mais adequados às condições sob estudo, e realizar as simulações (PONCE-HERNANDEZ, 2004).

Após a calibração do modelo e a realização das simulações, é fundamental proceder à validação com a utilização de dados obtidos no campo em áreas geográficas, que apresentam clima e características de solo representativas da região, onde o trabalho é realizado. Essas comparações são importantes e têm levado à melhoria nas estruturas dos modelos (SMITH et al., 1996). Modelos que têm critérios de aplicação bem definidos e que são utilizados em várias situações sempre com resultados satisfatórios podem ser usados com maior confiabilidade, do que aqueles que não

apresentam esses requisitos. O termo validado não significa que o modelo é 100% preciso em qualquer situação de uso, e sim que tem sido testado amplamente e que tem mostrado desempenho aceitável (MOLINA; SMITH, 1998). A validação, contudo, é bastante referenciada, significando a avaliação extensiva de um modelo, determinando seu desempenho, comparando-o (quantitativamente) a dados medidos em uma diversidade de situações (PONCE-HERNANDEZ, 2004).

Dentre os modelos de MO mais testados em diferentes ecossistemas terrestres estão o Century e o RothC. Estes têm apresentado bons resultados em regiões temperadas e tropicais (FALLOON; SMITH, 2002; LEITE et al., 2004b; KAMONI et al., 2007; LUGATO et al., 2007; KAONGA; COLEMAN, 2008). No Brasil, o Century tem sido testado nos biomas Amazônico, Mata Atlântica, Pampas, Cerrado e Pantanal (LEITE et al., 2004ab; CERRI et al., 2007; GALDOS et al., 2009).

Nos Pampas, o modelo Century, associado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi utilizado com sucesso para avaliar as mudanças nos estoques de C ocorridas em dois municípios, desde a adoção da agricultura em 1900 até 2050. Verificou-se redução significativa dos estoques de C a partir da introdução da agricultura, em sistema convencional, e recuperação desses estoques após a adoção de sistemas de manejo conservacionistas (TORNQUIST, 2007). No bioma Mata Atlântica, o modelo Century foi testado e validado para simular a dinâmica de C e N em Sistema Plantio Direto (SPD), manejo com arado e grade, adubações orgânica e mineral, pastagem e culturas de milho, feijão e cana-de-açúcar (LEITE et al., 2004ab). No Cerrado, foi utilizado para estudar o impacto do fogo na cultura do pinus e para simular o uso de monocultivo ou cultivos alternados de milho e soja em áreas de plantio direto (WENDLING, 2007). Na Amazônia, tem sido testado para simular o impacto da pastagem sobre a qualidade e a dinâmica de MO (CERRI et al., 2007).

Essas experiências positivas com o modelo Century em estudar a dinâmica de C e N em diferentes agroecossistemas tropicais e subtropicais brasileiros possibilitam estender seu uso, além da esfera acadêmica e científica, à tomada de decisão da vida prática. Nesse sentido, há atualmente massa crítica para se propor a aplicação desse modelo em programas de gestão ambiental, auxiliando na definição de melhores estratégias de uso do solo em diversos agroecossistemas.

SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO) EM ECOSISTEMAS BRASILEIROS COM O MODELO CENTURY

Vários grupos de pesquisa têm trabalhado e validado o modelo Century em estudos da dinâmica de MO em diversos agroecossistemas no Brasil. No trabalho de Leite et al. (2004b), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa, MG, o modelo Century simulou a dinâmica da MO do solo, desde a derrubada da Floresta Atlântica, em 1930, e consequente adoção da agricultura convencional, até o período experimental (1984-2000), com aplicação dos tratamentos (plantio direto, arado de disco, grade pesada+arado de disco e grade pesada), estendendo-se até o ano de 2050. Em todos os sistemas, inclusive no plantio direto, foi observado declínio nos estoques de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos (ativo, lento e passivo) de C. Isso indica a necessidade de mudanças nas estratégias de manejo, como por exemplo, a inclusão de culturas de cobertura de elevado aporte de resíduos para preservar a qualidade do solo (Gráfico 1). Neste trabalho, os estoques de COT nos solos sob sistemas de preparo, medidos e simulados pelo modelo Century foram similares, especialmente no solo sob SPD (Quadro 1).

Por outro lado, no Rio Grande do Sul, Fernandes (2002) observou em um Argissolo Vermelho, sob sistemas de preparo e de culturas, que os estoques de COT, simulados pelo modelo Century, foram super

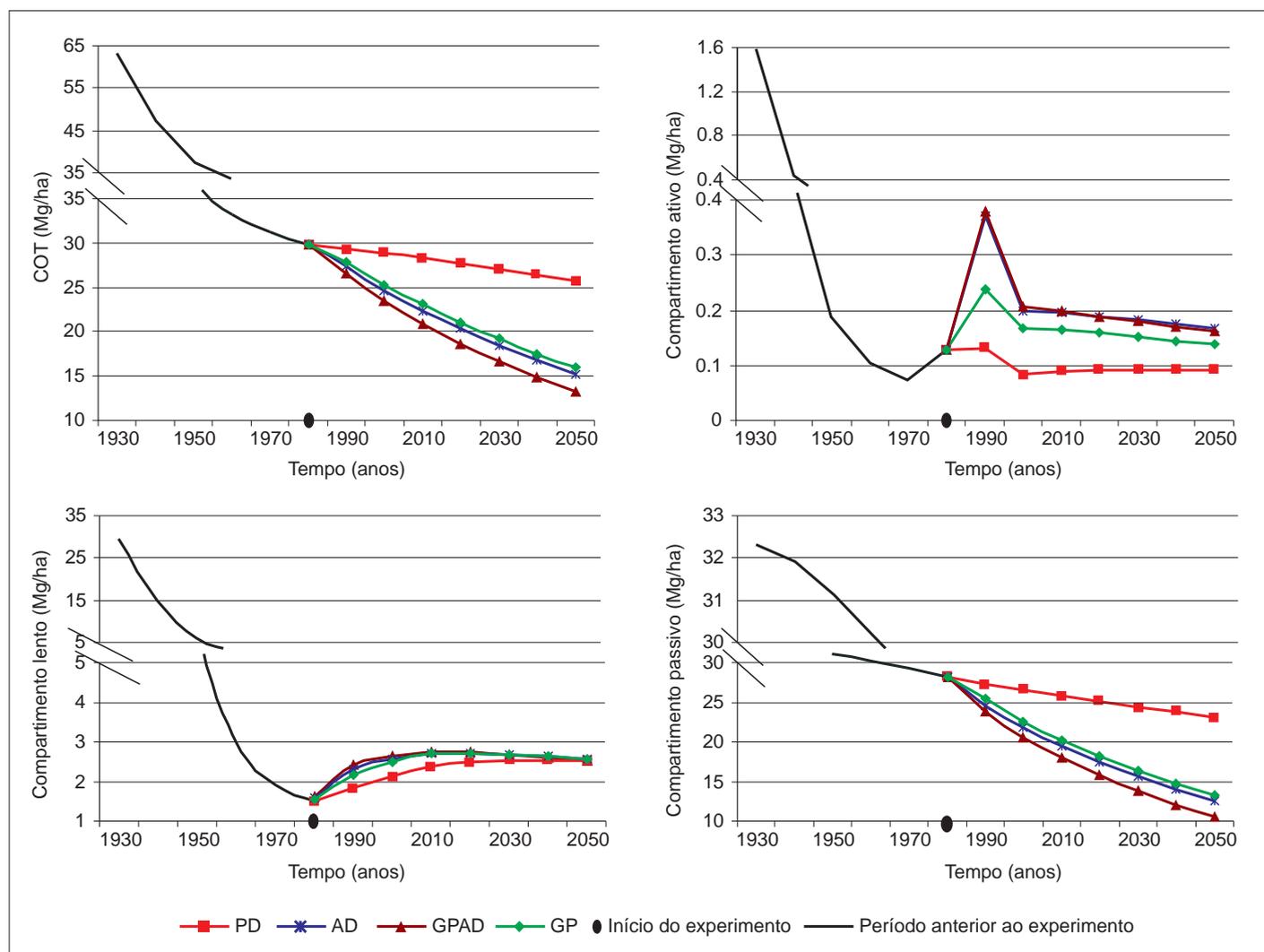


Gráfico 1 - Simulação pelo modelo Century da dinâmica do carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos de carbono (C) em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa-MG

FONTE: Dados básicos: Leite et al. (2004b).

NOTA: PD - Plantio direto; AD - Arado de disco; GPAD - Grade pesada + arado de disco; GP - Grade pesada.

QUADRO 1 - Estoques de carbono orgânico total medidos (COTm) e simulados (COTs) pelo modelo Century em dois agroecossistemas no Brasil

Sistemas de preparo	COTm (Mg/ha)	COTs (Mg/ha)
Plantio direto ^(A)	38,55	38,45
Arado de disco ^(A)	31,22	32,65
Grade pesada + arado de disco ^(A)	30,98	31,22
Grade pesada ^(A)	31,26	33,60
Preparo convencional, aveia/milho ^(B)	29,94	33,59
Preparo convencional, aveia + ervilhaca/milho + caupi ^(B)	34,89	33,72
Plantio direto, aveia/milho ^(B)	36,45	34,16
Plantio direto, aveia + ervilhaca/milho + caupi ^(B)	42,38	34,22

FONTE: (A) Leite et al. (2004b), (B) Fernandes (2002).

e subestimados em relação aos estoques medidos no solo sob sistema convencional (aração e gradagem) e no solo sob plantio direto, respectivamente (Quadro 1). Nesse caso, as diferenças entre o medido no campo e o simulado pelo modelo variaram de 3% a 19%, que está dentro da faixa de variação dos teores de C no campo.

Com relação à simulação de cenários futuros, os trabalhos de Leite et al. (2004ab) e Wendling (2007) são as principais referências em Minas Gerais. No Gráfico 2, são apresentados a dinâmica dos estoques de COT e os compartimentos ativo, lento e passivo para o *Pinus* até o ano de 2100, da região do Cerrado de Minas Gerais (WENDLING, 2007). Foram simulados três cenários, sendo o primeiro a continuação do manejo dado ao *Pinus* até

o ano de 2004, simulando um corte a cada 30 anos (a). Nesta situação, os estoques para COT aumentam discretamente com o passar dos anos. A cada evento de colheita da madeira, os estoques de COT são afetados, apresentando aumento rápido, seguido de diminuição acentuada, que, após 30 anos, é recuperada. Esse comportamento é explicado pela adição de material vegetal da parte aérea que permanece no campo após a colheita da madeira e a renovação do sistema radicular.

No segundo cenário, simulou-se a retirada do preparo do solo nos anos iniciais (b). Esse cenário não mostrou grandes alterações em relação ao uso de preparo, uma vez que essa operação somente era utilizada nos primeiros anos. Embora os compartimentos ativo e lento fossem pouco

afetados, houve melhora nos estoques do compartimento passivo.

Para o terceiro cenário, foi simulada a redução do número de eventos de fogo (c), que antes aconteciam bianualmente e passaram a ocorrer duas vezes durante cada ciclo. Esse cenário apresentou a melhor resposta para aumento dos estoques de C no solo. Os estoques de COT e compartimento lento passaram a ser maiores aos observados no Cerrado. Para o compartimento lento, os estoques ainda não superaram o Cerrado, mas apresentaram grande melhora. O compartimento passivo mostra que a única forma de aumentar seus estoques é evitando queimadas.

Para plantio convencional e direto, os cenários futuros foram criados simulando-se o uso do monocultivo de milho (a) e

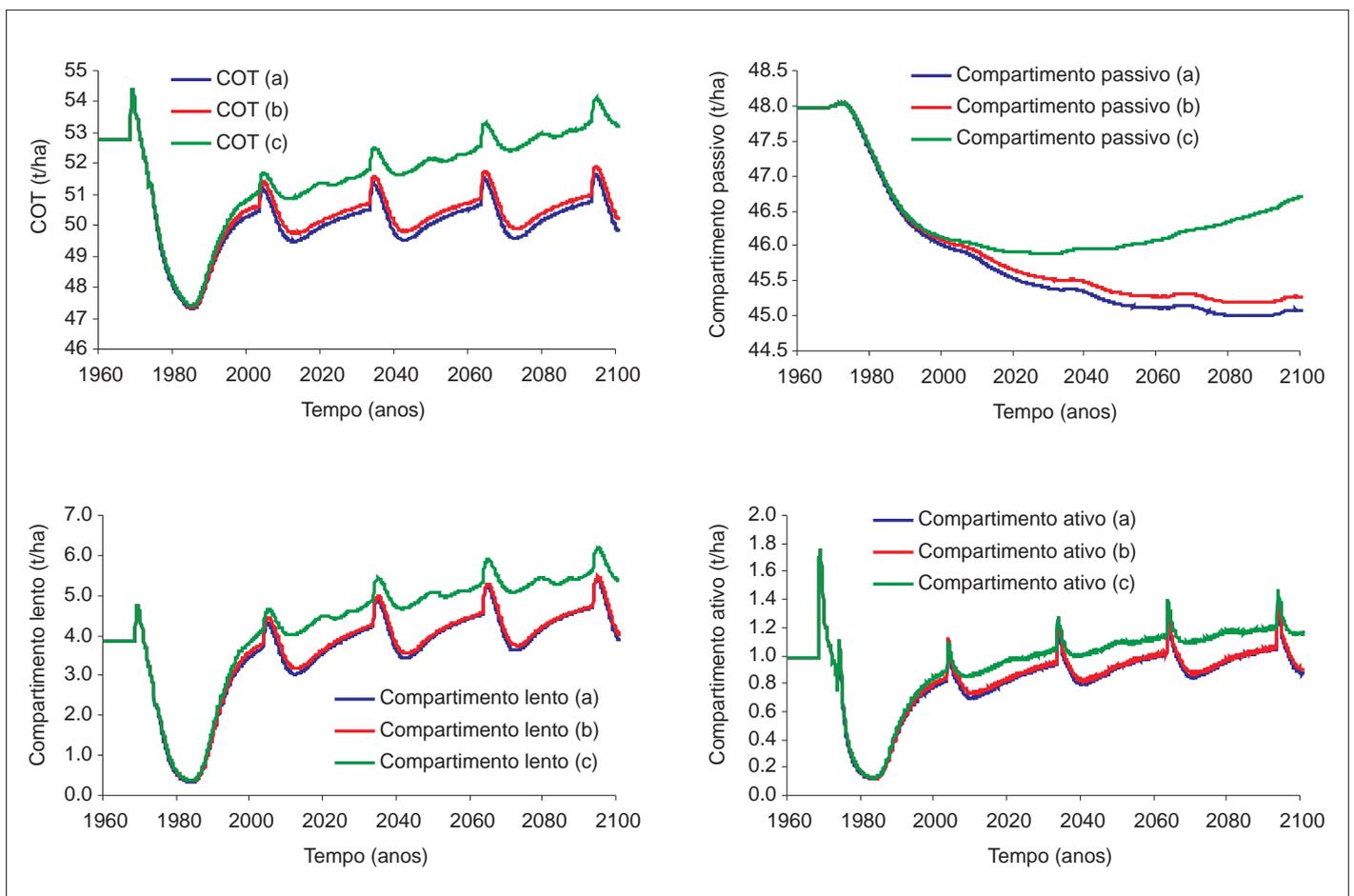


Gráfico 2 - Variação dos estoques de carbono orgânico total (COT) e compartimentos passivo, lento e ativo estimados pelo modelo Century v4.5 para o *Pinus*: (a) com preparo e queimada, (b) sem preparo e com queimada e (c) sem preparo e somente duas queimadas por ciclo

FONTE: Dados básicos: Wendling (2007).

cultivos alternados de milho e soja (b). O uso do monocultivo é mais impactante do que o uso de cultivos alternados de milho e soja (Gráfico 3). No caso do COT, para o plantio direto (b), pode-se observar que os estoques se igualam aos do Cerrado, diferentemente do plantio direto (a), plantio convencional (a e b), onde houve diminuição gradativa. Um ponto importante a ser observado é a variação dos dados de compartimento ativo ao longo do período estudado (Gráfico 3). A grande variabilidade desse compartimento ao longo do ano está relacionada principalmente com as variações climáticas (temperatura e umidade), com a disponibilidade de nutrientes, com o manejo do solo e a disponibilidade de substrato para os microrganismos do solo.

Esses dados ilustram a dificuldade de utilizar a atividade biológica como indicadora de qualidade do solo, utilizando dados de campo, uma vez que há necessidade de um grande volume de amostras ao longo do ano. Esse aspecto pode ser atendido com o uso de modelos computacionais como o Century.

É importante observar que, quando esses trabalhos foram realizados, em 2005, a maioria dos sistemas de manejo não apresentava diferenças significativas. Dessa forma, o técnico e o produtor podiam, equivocadamente, pensar que a diferença no sistema de manejo não acarretaria em prejuízo da qualidade do solo. Contudo, constata-se pelo exercício, que, após alguns anos, os sistemas apresentam

diferenças significativas nos estoques de C, que está diretamente relacionado com os teores de MO e a vida do solo. Esse comportamento ilustra como a ferramenta computacional pode ajudar o técnico na tomada de decisão e seu trabalho de construção de ações no campo junto com o produtor rural. Cabe ressaltar que, nesses exemplos, a diferença entre os dados medidos no campo e simulados pelo modelo foi em torno de 5% para o COT, 8% para o compartimento ativo, 5,3% para o lento e 6% para o passivo (Quadro 2).

Em outro trabalho realizado por Wendling (2007), em dois solos distintos na mesma região da Zona da Mata Mineira (Coronel Pacheco), foram testados os cenários descritos no Quadro 3. No Latossolo,

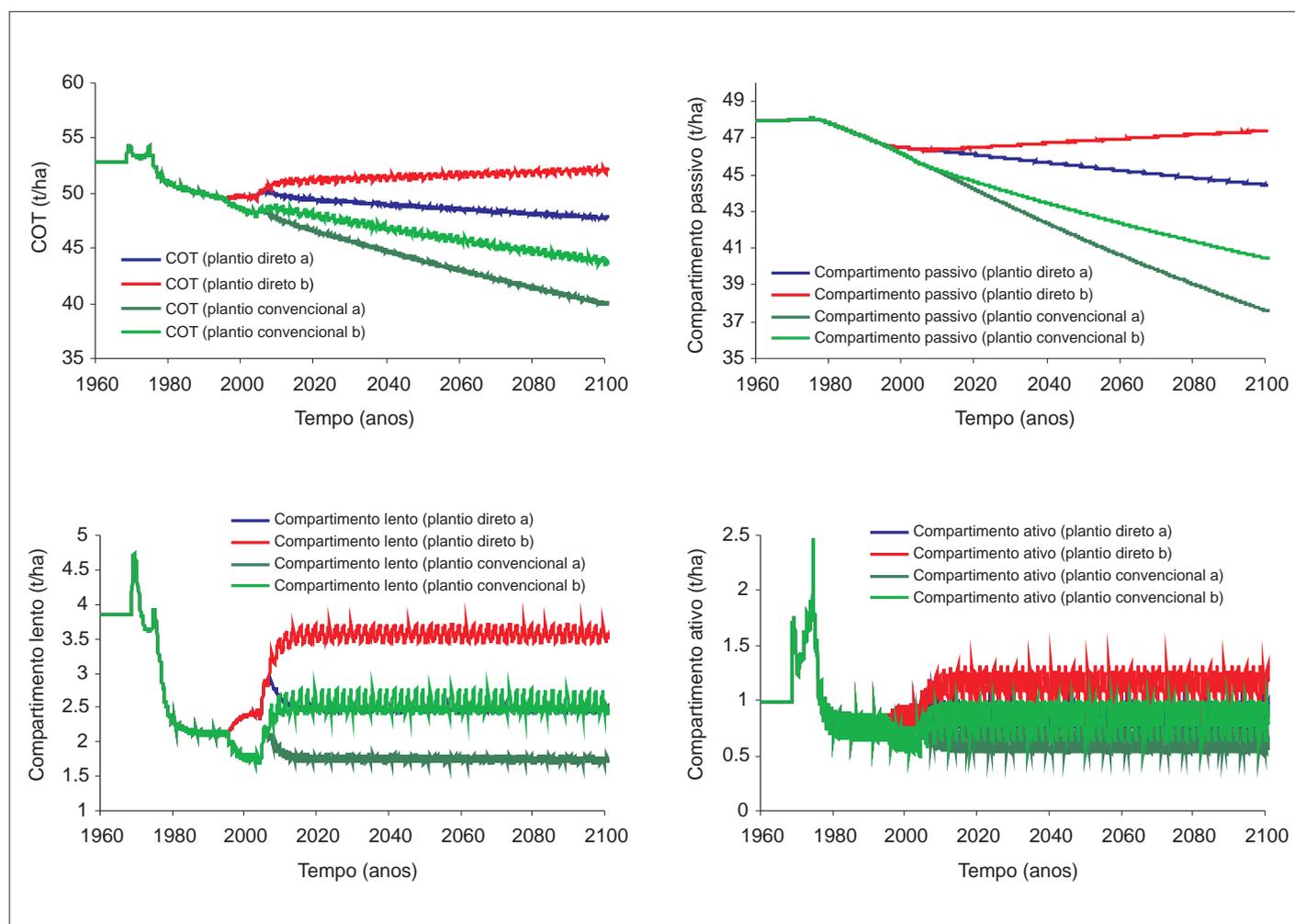


Gráfico 3 - Variação dos estoques de carbono orgânico total (COT) e compartimentos passivo, lento e ativo estimados pelo modelo Century v4.5 para os tratamentos plantio convencional e direto: (a) milho sem rotação e (b) rotação milho/soja

FONTE: Dados básicos: Wendling (2007).

QUADRO 2 - Comparação entre os valores simulados e os obtidos no campo via métodos laboratoriais para carbono orgânico total (COT) e compartimentos ativo, lento e passivo para o plantio convencional, direto e *Pinus*

Sistema de manejo	Compartimento (t/ha)	Simulado	Observado
Plantio convencional	Ativo	0,79	0,79 (0,08)
	Lento	1,73	1,54 (0,07)
	Passivo	45,70	45,96 (1,10)
	COT	48,21	48,29 (1,16)
Plantio direto	Ativo	0,98	0,79 (0,06)
	Lento	2,37	2,11 (0,06)
	Passivo	46,38	48,71 (2,45)
	COT	49,73	51,61 (2,48)
<i>Pinus</i>	Ativo	0,83	0,85 (0,04)
	Lento	3,74	3,95 (0,21)
	Passivo	45,95	43,56 (1,00)
	COT	50,52	48,36 (1,10)

FONTE: Dados básicos: Wendling (2007).

NOTA: Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média.

QUADRO 3 - Classes de solos das áreas, sistemas de manejo e histórico resumido

Classe de solo	Sistemas de manejo	Cenários simulados pelo modelo
Latossolo	Pastagem de braquiária adubada	1950 - desmatamento 1950 até 1988 - capim-angola 1989 até 2002 - capim-elefante 2003 até 2050 - braquiária
	Pastagem de braquiária não adubada	1950 - desmatamento 1950 até 1985 - capim-angola 1986 até 2050 - braquiária
Cambissolo	Milho silagem	1935 - desmatamento 1935 até 1973 - cultivo de olerícolas 1974 até 1985 - capim-angola 1986 até 2050 - milho silagem
	Coast-cross	1935 - desmatamento 1935 até 1979 - capim-angola 1980 até 1982 - aveia pastejo 1983 até 1991 - milho grão verão 1992 até 2050 - coast-cross
	Cana-de-açúcar	1935 - desmatamento 1935 até 1989 - capim-angola
		1990 até 2050 - cana-de-açúcar

as simulações mostram claramente dois picos, onde os estoques de C aumentam consideravelmente, mas, em seguida, decrescem (Gráfico 4). Esses picos refletem mudanças bruscas de manejo, momento

quando a biomassa vegetal, e/ou serapilheira, é adicionada ao solo, a primeira por ocasião da derrubada da mata e a segunda logo após a substituição do capim-angola por outras culturas (Quadro 3). Os estoques

de COT e dos compartimentos ativo, lento e passivo foram maiores, no tratamento com adubação de pastagem de braquiária (a) em relação ao sem adubação (b) (Gráfico 4). Em termos quantitativos, o efeito

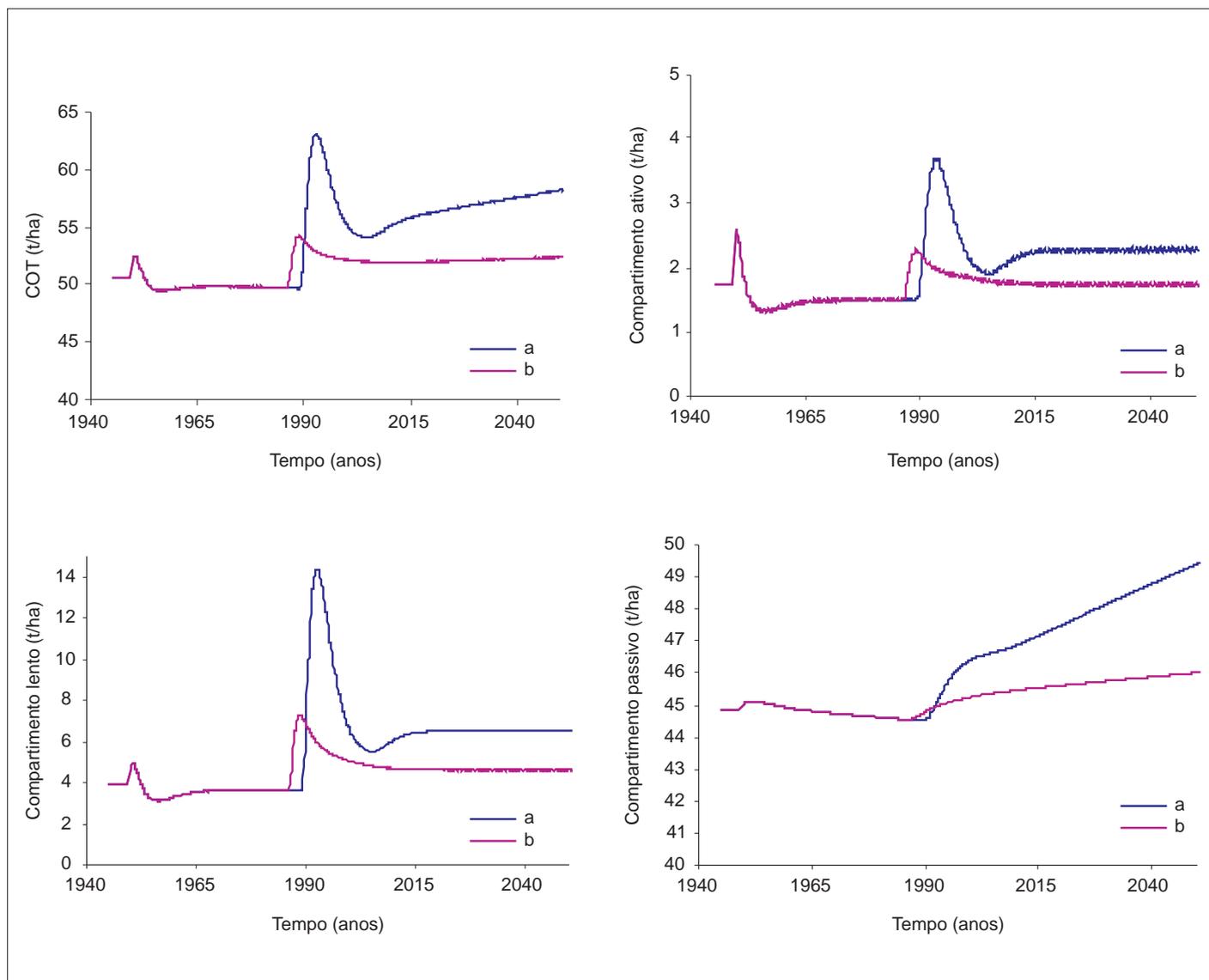


Gráfico 4 - Estoques de carbono orgânico total (COT), compartimentos ativo, lento e passivo na área de Latossolo para pastagem de braquiária com adubação (a) e sem adubação (b), estimados pelo modelo Century, para Coronel Pacheco-MG

NOTA: Dados de origem variam mensalmente.

positivo da adubação para o ano de 2050 foi de 5,90, 0,54, 1,89 e 3,44 t/ha para o COT e os compartimentos ativo, lento e passivo, respectivamente. Esse ganho de C é proporcionado pela maior produção de biomassa vegetal na área adubada, ou seja, um maior aporte de C. Isto mostra a importância que deve ser dada à adubação em planos de manejo da fertilidade do solo.

Nas simulações realizadas pelo modelo Century na área de Cambissolo (Gráfico 5), as áreas com coast-cross e cana-de-açúcar não sofreram grandes alterações em seus estoques de COT, bem como no compar-

timento passivo. Por se tratar de uma área de solo aluvial, onde a retenção de água é maior, o local foi favorável a maiores estoques iniciais de COT em relação à área de Latossolo. Após a derrubada da mata secundária, o manejo dessas áreas foi pouco impactante, ou seja, quase sem revolvimento do solo, com exceção para coast-cross, onde se cultivaram aveia e milho por alguns anos (1980 a 1991). Esse período com culturas anuais provocou leve diminuição nos estoques de COT no solo. No entanto, com a introdução do coast-cross, os estoques tendem a recuperar e a

manter-se estáveis até 2050. A introdução da cana-de-açúcar, em 1980, resultou em pequena diminuição nos estoques simulados pelo Century. Possivelmente, se essa área fosse melhor manejada, pois não recebeu mais adubação após a implantação, seus estoques provavelmente seriam maiores, pois a produção de biomassa aumentaria, como foi constatado no caso da braquiária, onde a área adubada melhorou os estoques de COT do solo. A área atualmente usada para milho silagem foi a que mais sofreu redução nos estoques de COT (e respectivos compartimentos)

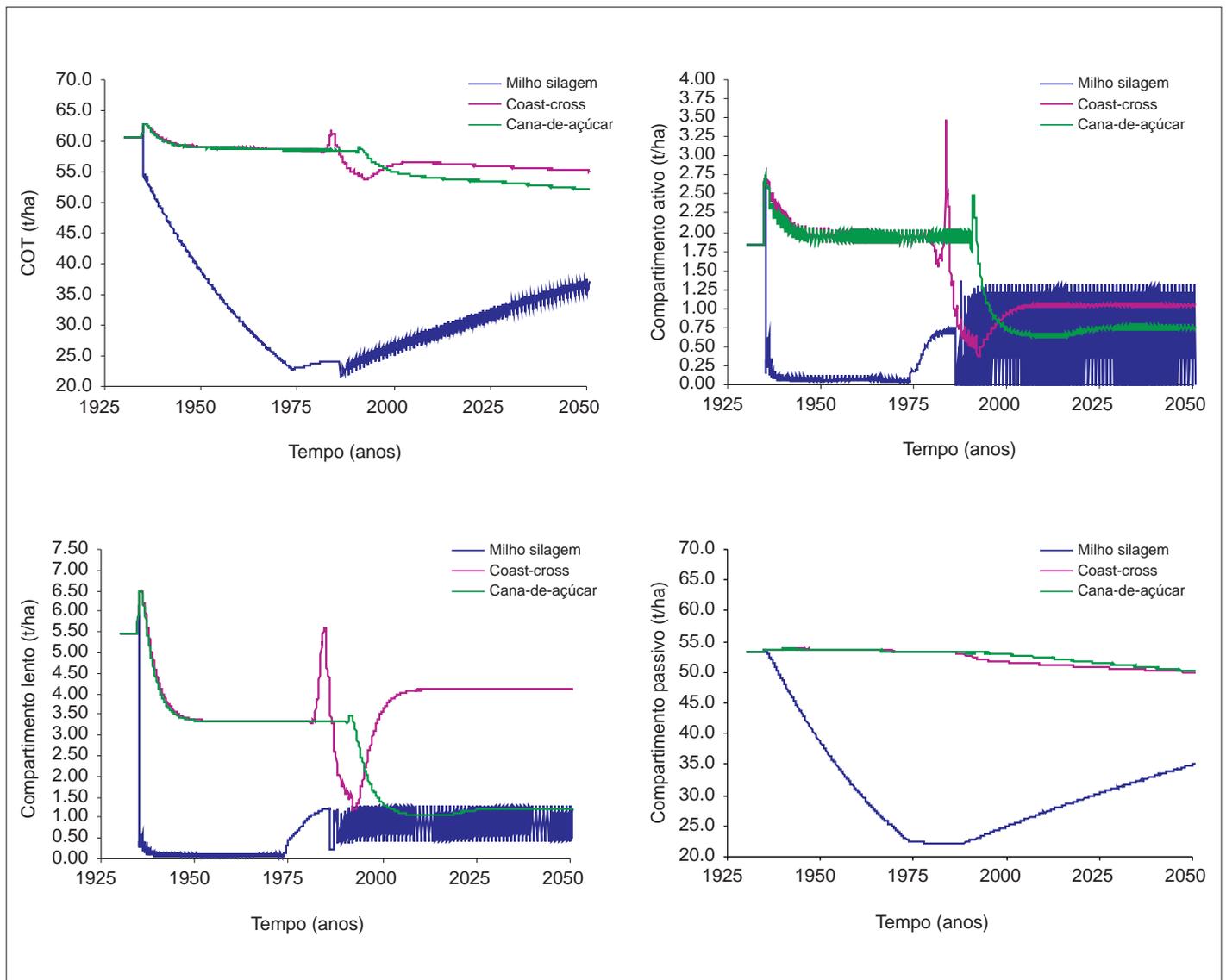


Gráfico 5 - Estoques de carbono orgânico total (COT), compartimentos ativo, lento e passivo na área de Cambissolo para milho silagem, coast-cross e cana-de-açúcar, estimados pelo modelo Century, para Coronel Pacheco-MG

NOTA: Dados de origem variam mensalmente.

simulados pelo modelo Century. Pelos resultados do modelo, observou-se que não foi o cultivo do milho silagem o responsável por essa perda nos estoques, e sim o cultivo intenso de olerícolas, realizado nessa área até o ano de 1973. O cultivo de olerícolas exige intenso revolvimento do solo, mantendo-o descoberto por longos períodos e quase toda a produção (folhas e raízes) é exportada da área. Esses fatores justificam essa perda nos estoques totais e nos compartimentos de C. Cabe enfatizar que os estoques de COT estavam tão baixos, quando se iniciou o cultivo do milho

para silagem, que qualquer manejo menos impactante do que olerícolas poderia promover aumento desses estoques. É bom lembrar que, se o cenário fosse prolongado por mais 100 ou 200 anos, os estoques de C iriam estabilizar muito abaixo das outras áreas. Vale também salientar que era uma área irrigada e que produzia duas colheitas anuais com altas doses de adubos e altas produtividades, produzindo grande quantidade de raízes.

Os resultados são semelhantes para simulação do efeito do manejo do solo sobre a dinâmica de N, com o erro atin-

gindo 30%. Esse erro é aceitável, se forem consideradas a dificuldade de estimar a dinâmica de N no solo e a não realização de análise de N pelos laboratórios de rotina, com a adubação nitrogenada sendo recomendada de acordo com a cultura e a textura do solo.

Com os resultados da simulação da dinâmica da MO do solo, pode-se estimar a influência do manejo das culturas sobre a taxa de fixação e emissão de C-CO₂ e N para a atmosfera e, portanto, o potencial dos sistemas de manejo, quanto ao seu impacto sobre o efeito estufa e a qualidade do solo.



Mudas de Videira

- Mudas selecionadas.
- Produzidas pela moderna técnica de enxertia de mesa.
- Isentas de viroses.

Consulte as variedades disponíveis e informe-se sobre cursos em viticultura.

Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho
Av. Santa Cruz, 500 • Caldas • MG

(3 5) 3 7 3 5 1 1 0 1

epamig@epamigcaldas.gov.br



www.epamig.br

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É promissor o uso de modelos de simulação como ferramenta em programas de gestão ambiental da agricultura. Cabe ressaltar que esses modelos simulam as ações reais e que, apesar das limitações, são excelentes instrumentos para avaliar como os sistemas agrícolas impactam o ambiente, estimando estoques de MO do solo, fixação e emissão de C e N em diferentes compartimentos do solo e da planta. Considerando o grande potencial dessa ferramenta, ações junto aos órgãos de extensão, objetivando a divulgação e o treinamento de técnicos extensionistas, seriam uma medida importante para otimização da extensão e para fazer com que a atividade agrícola seja também promotora de qualidade ambiental no Brasil.

REFERÊNCIAS

- CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from Brazilian Amazon with RothC Century and models. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v.122, n.1, p.46-57, Sept. 2007.
- CHENG, H.H.; KIMBLE, J.M. Characterization of soil organic matter pools. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Assessment methods for soil carbon**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p.273-284.
- COLLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26.3: a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S.; SMITH, P.; SMITH, J.U. (Ed.). **Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. p.237-246. (NATO ASI. Series 1, v.38).
- FALLOON, P.; SMITH, P. Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and Century: model evaluation for a regional scale application. **Soil Use and Management**, v.18, n.2, p.101-111, June 2002.
- FERNANDES, F.F. **Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 153p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GALDOS, M.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; ANTWERPEN, R. van. Simulation of soil carbon dynamics under sugarcane with the CENTURY model. **Soil Science Society of America Journal**, v.73, n.3, p.802-811, May/June 2009.
- IPCC EXPERT MEETING REPORT, 2007, NOORDWIJKERHOUT, The Netherlands. **Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies**. Geneva: WMO: UNEP, 2008. 155p.
- JORGENSEN, S.E.; BENDORICCHIO, G. **Fundamentals of ecology modelling**. 3.ed. Amsterdam: Elsevier, 2001. 544p. (Development in Environmental Modelling, 21).
- KAMONI, P.T.; GICHERU, P.T.; WOKABI, S.M.; EASTER, M.; MILNE, E.; COLEMAN, K.; FALLOON, P.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; KIHANDA, F.M. Evaluation of two soil carbon models using two Kenyan long term experimental datasets. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v.122, n.1, p. 95-104, Sept. 2007.
- KAONGA, M.L.; COLEMAN, K. Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in eastern Zambia using the RothC-26.3 model. **Forest Ecology and Management**, v.256, n.5, p.1160-1166, Aug. 2008.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.123, n.1/2, p. 1-22, Nov. 2004.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.2, p. 347-358, mar./abr. 2004a.
- _____; _____. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plough systems using the Century model. **Geoderma**, v.120, n.3/4, p.283-295, June 2004b.
- LUGATO, E.; PAUSTIAN, K.; GIARDINI, L. Modeling soil organic carbon dynamics in two long-term experiments of North-eastern Italy. **Agriculture Ecosystem and Environment**, v.120, n.2/4, p.423-432, May 2007.
- MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E.; SHAFFER, M.J.; CHICHESTER, F.W.; LARSON, W.E. NCSOIL. A model of nitrogen and carbon transformations in soil: description, calibration and behaviour. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, n.1, p.85-91, Jan./Feb.1983.
- _____; SMITH, P. Modelling carbon and nitrogen processes in soil. **Advances in Agronomy**, v.62, p. 253-298, 1998.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.5, p.1173-1179, Sept./Oct. 1987.
- PONCE-HERNANDEZ, R. **Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes**. Rome: FAO, 2004. 156p.
- REEVES, D.W. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping system. **Soil and Tillage Research**, v.43, n.1/2, p.131-167, Nov. 1997.
- RITCHIE, J.K.; GODWIN, D.C.; OTTERNACKE, S. **Ceres-wheat: a simulation model of wheat growth and development**, Ceres model description. East Lansing: Michigan State University, 1985. 252p.
- SMITH, J.U.; BRADBURY, N.J.; ADDISCOTT, T.M. Sundial: a PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. **Agronomy Journal: an international journal**, Madison, v.88, n.1, p.38-43, Jan./Feb. 1996.
- TORNQUIST, C.G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do modelo Century e sistemas de informações geográficas**. 2007. 156p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WENDLING, B. **Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century**. 2007. 122p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- WILLIAM, J.R.; RENARD, K.G. Assessment of soil erosion and crop productivity with process models (EPIC). In: FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 68-102.