ESPAÇO EM REVISTA
ISSN: 1519-7816

UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY NA SIMULAÇÃO DO CARBONO SOB DIFERENTES USOS DA TERRA

Jussara dos Santos Rosendo
Professora do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFU, Campus Pontal

Roberto Rosa
Professor Associado do Instituto de Geografia do UFU, Bolsista CNPq

Resumo
Os solos podem funcionar como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera dependendo das condições climáticas e, sobretudo, do tipo de uso e manejo adotados. Levando-se em consideração o potencial em estocar/sequestrar C reconhecidamente atribuídos a diversos usos da terra é que justifica-se a realização desta pesquisa, cujo objetivo foi avaliar a utilização do modelo Century na simulação da dinâmica do Carbono Orgânico do Total (COT) em áreas de pastagem melhorada, pastagem degradada e cana-de-açúcar. A metodologia da pesquisa incluiu a determinação do COT do solo pelo método de combustão via úmida; a análise dos parâmetros físicos do solo; a averiguação do histórico da área e a modelagem da dinâmica do COT. Os resultados demonstraram bom desempenho na simulação do C presente nos diferentes usos da terra avaliados, alcançando dados muito próximos dos reais, no caso do Cerrado o estoque de C medido foi 37,41 Mg C ha^{-1} ao passo que o simulado foi 37,24 Mg C ha^{-1}.

Palavras-chave: Estoque de C. Usos da terra. Modelagem. Century.

THE SIMULATION OF DIFFERENTS LAND USE BY CENTURY MODEL

Abstract
Soils can act as a source or sink of carbon to the atmosphere depending of climate conditions and the type of use and management adopted. This research is justified by the potential carbon stock recognized to different land uses, whose objective was to evaluate the use of the Century model for the simulation of the carbon soil organic (COS) under improved pasture, degraded pasture and sugarcane. The methodology included the determination of COS by humid combustion method; the analysis of soil physical parameters; the investigation of land use history of the area and the modeling of the dynamics of COS. The results showed good performance by Century model in the simulation of C present in the different land uses, with data very similar to reality, by Cerrado the measured carbon stock was 37,41 Mg C ha^{-1} while the simulated was 37,24 Mg C ha^{-1}.
Keywords: Carbon stock. Land uses. Model. Century.

Introdução

O modelo Century foi desenvolvido originalmente para simular a dinâmica da Matéria Orgânica (MO) do solo em pastagens naturais nas Planícies Norte Americanas, sendo, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob exploração agrícola, passando a incluir o efeito do preparo do solo sob taxas de decomposição (LEITE; MENDONÇA, 2003).

O modelo pode ser aplicado em vários sistemas agrícolas que diferem em práticas agronômicas, tais como rotação de culturas, preparo do solo, fertilização e irrigação. O sucesso do

modelo Century na simulação da dinâmica da MO, em solos de região temperada, tem estimulado muitos pesquisadores a aplicá-lo em ecossistemas tropicais. Por meio do modelo, pode-se relacionar a MO aos níveis de fertilidade e tipos de solo e ao manejo atual e futuro, otimizar o entendimento das transformações dos nutrientes em solos tropicais e auxiliar no desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis.

Leite e Mendonça (2007) relataram que nos Estados Unidos, o modelo Century foi integrado a uma base de dados meteorológicos e de solo fornecidos por SIG, sendo utilizado para estimar o potencial de sequestro de C para 44% da área terrestre do país.

Os autores mencionam que para simulações específicas de um local, há a necessidade de realizar a calibração, ou seja, organizar uma base de dados referentes, principalmente, ao clima, ao solo, às culturas utilizadas e ao histórico da área, com o intuito de alimentar o modelo. Dessa forma, além das variáveis de entrada, quantificadas ou obtidas por meio da literatura, o usuário pode modificar os parâmetros das equações que controlam os fluxos de C, tornando-os mais adequados às condições sob estudo e realizar as simulações.

O Century funciona em escala de metro quadrado e simula a camada superficial 0-20 cm, usando etapa de tempo mensal, contém vários submodelos, tais como, o de água, o de produção vegetal e o da dinâmica da Matéria Orgânica do Solo (MOS). Leite e Mendonça (2007) explicaram que os dois primeiros calculam a maioria das variáveis ambientais diretas (temperatura e umidade do solo, absorção de nutrientes pelas plantas e quantidade e qualidade dos resíduos vegetais), que são requeridas para o submodelo de dinâmica da MOS.

As principais variáveis de entrada são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdos de lignina e de N, P e S do material vegetal, textura do solo, aporte de N do solo e da atmosfera e teor inicial de C, N, P e S, nos diferentes compartimentos do solo. Estas variáveis de entrada estão disponíveis para maioria dos agroecossistemas e podem ser estimadas por meio da literatura. A maioria dos parâmetros que controlam o fluxo de C estão no arquivo FIX.100, que é parte do sistema de arquivos (LEITE; MENDONÇA, 2007, p. 17)

O modelo Century inclui três compartimentos de MOS (ativo, lento e passivo), com diferentes taxas de decomposição, compartimentos de resíduos vegetais acima e abaixo do solo e um compartimento microbiano superficial (LEITE; MENDONÇA, 2007).

Wendling (2007) fez uma observação importante sobre a modelagem de nutrientes. O autor expôs que modelos podem oferecer importantes contribuições para o estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo. Para tanto, devem ser testados e validados para as mais diferentes condições, garantindo a sua utilização com confiança. Comprovada sua validade, os modelos podem ser empregados, também, para simular eventos futuros de uso e manejo do solo, fornecendo subsídios

na escolha dos caminhos mais apropriados para a melhoria da qualidade dos solos nos mais diferentes agroecossistemas.

Materiais e Métodos

Caracterização da área de estudos e amostragem

A modelagem no Century foi realizada em quatro áreas com usos da terra e sistemas de manejo diferentes nas proximidades da divisa entre os municípios de Uberlândia e Uberaba (entre as coordenadas 19º0'11" e 19º13'14" de latitude Sul e 48º07'45 e 48º19'16" de longitude Oeste): cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN), respeitando-se os critérios de tipo de solo e declividade semelhantes. A modelagem nestes usos deu-se em virtude dos seguintes fatores:

- O Cerrado (CER), por ser a vegetação típica da área, além disso é utilizado como vegetação de referência na determinação do impacto da substituição da vegetação natural por áreas agrícolas, ou seja, o ponto de partida para avaliação do estoque ou perda de C pelas culturas agrícolas analisadas;
- As pastagens melhorada (PME) e degradada (PDE), por serem as responsáveis pela produtividade da pecuária, que é uma das principais atividades econômicas do Cerrado. Além disso, dados do IBGE estimam que 50 % das pastagens no Brasil apresentam algum estágio de degradação;
- A cana-de-açúcar (CAN), por ser uma cultura recentemente inserida na região (a partir do ano 2007), estimulada pela expansão do setor sucroalcoleiro. Em consequencia disso, verifica-se que a instalação dos canaviais ocorre em áreas previamente ocupadas por pastagens. Dessa forma, é de suma importância que sejam analisados os impactos desta substituição nos teores de COT.

A escolha dos pontos amostrais para a modelagem no Century foi norteada pela proximidade entre as áreas, solos latossolos e a topografia plana. Outra característica fundamental foi a disponibilidade de dados médios de temperatura e precipitação mensais, para entrada no modelo.

As amostras de solo foram obtidas durante trabalho de campo à profundidade de 0-20 cm, por ser esta a permitida pelo modelo Century para simulações. Cada amostra composta foi obtida a partir de cinco amostras simples em cada área. Na Tabela 1, verifica-se que a temperatura média anual da época foi de 22,7º C e a precipitação média anual de quase 1585 mm. Destaca-se um período seco de maio a setembro e um período chuvoso de outubro a abril.

Tabela 1 - Médias de temperatura e precipitação para o município de Uberlândia-MG

Meses	Precipitação (mm)*	Temperatura (ºC)**	Temperatura Média Mensal Mínima (ºC)**	Temperatura Média Mensal Máxima (ºC)**
Janeiro	312,5	23,6	19,7	29,1
Fevereiro	201,1	23,7	19,5	29,7
Março	217,3	23,5	19,5	29,3
Abril	84,7	22,9	18,5	29,1
Maio	38,9	20,7	15,7	27,4
Junho	15,9	19,5	14,4	26,6
Julho	9,3	19,6	14,1	27,0
Agosto	14,1	21,3	15,5	29,0
Setembro	52,0	23,0	17,4	30,1
Outubro	111,8	24,1	19,0	30,6
Novembro	203,0	23,6	19,2	29,5
Dezembro	324,2	23,4	19,4	8,9
Média	1584,8	22,7	17,65	27,19

* (Médias mensais referentes ao período que vai de 1981 a outubro de 2009)
** (Médias mensais referentes ao período que vai de 1981 a outubro de 2009)
Fonte: Estação Climatológica do IG-UFU

A Tabela 2 apresenta os tipos de solo encontrados nas áreas testes, bem como os teores de areia, argila, silte, densidade e pH utilizados no Century. Os resultados da textura, densidade e pH, foram obtidos conforme metodologia de Embrapa (1997). O estoque de C (Mg ha^{-1}) foi calculado por combustão via úmida (YEOMANS; BREMNER, 1988).

Tabela 2 - Características das áreas testes utilizadas para modelagem no Century

Usos	Tipo de solo	Areia (g Kg^{-1})	Argila (g Kg^{-1})	Silte (g Kg^{-1})	Densidade (g Kg^{-1})	pH	Estoque de C (2009) (Mg ha^{-1})
CER	LV*	629	343	28	1,11	4,61	37,41
PME	LV*	391	491	100	1,33	5,94	44,89
PDE	LV*	533	379	88	1,28	4,93	39,47
CAN	LVA**	642	318	40	1,70	5,85	43,93

* Latossolo Vermelho (LV)
** Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)
Fonte: Trabalho de campo para coleta das amostras de solo.

A correta identificação de como a área foi utilizada ao longo dos anos é fator primordial para garantir a qualidade da simulação do modelo. Sendo assim, o histórico de uso das áreas testes (PME, PDE e CAN) foi realizado a partir da interpretação visual de imagens de satélite desde o ano 1973 (MSS/Landsat 2) até o ano 2009 (TM/Landsat 5). Após consulta ao site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as imagens que pertencem às órbitas/pontos 237/73 (MSS/Landsat 2) e 221/73 (TM/Landsat 5), foram georreferenciadas e interpretadas visualmente para, em seguida, serem identificadas as modificações ao longo do período analisado. Para garantir maior confiabilidade no resultado do histórico, após a interpretação das imagens de satélite, foi realizado

um trabalho de campo (setembro de 2009) com destino às áreas previamente selecionadas, com o objetivo de ratificar o que (não) fora analisado adequadamente em laboratório (Quadro 1).

Quadro 1 - Histórico de uso das áreas utilizadas para modelagem no Century

Tipo de uso	Sequências de manejo e uso
Cerrado	Até 2009 – Cerrado
Pastagem Melhorada	Até 1977 – Cerrado 1978 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1979 a 2001 – Pastagem Braquiária (não realizou melhorias, fogo acidental) 2002 a 2005 – Soja (área arrendada) 2006 a 2009 – Pastagem Braquiária (calagem, gradagem, adubação com 4-14-8 + zinco) Houve queimada acidental certo ano
Pastagem Degradada	Até 1984 – Cerrado 1985 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1986 a 2009 – Pastagem braquiária (não realizou melhorias e há relato da utilização de fogo)
Cana-de-açúcar	Até 1984 – Cerrado 1985 – Desmatamento (retirada da madeira, limpeza da área com uso do fogo e plantio de arroz) 1986 a 2006 – Plantio convencional de soja/milho 2007 a 2009 – Cana-de-açúcar

Fonte: Imagens de satélite e entrevistas aos proprietários das áreas durante trabalho de campo

O campo foi uma etapa indispensável, pois algumas informações só puderam ser adquiridas e/ou confirmadas a partir da entrevista aos proprietários das áreas. Como exemplo é possível citar a informação de que após o desmatamento do Cerrado, naquela época, década de 1970 e 1980, ocorria o plantio de arroz antes da introdução da pastagem. O proprietário da PDE, cuja família foi também proprietária, por muito tempo, da área onde se encontra a CAN, forneceu dados importantes sobre o manejo, utilização do fogo e implantação de culturas das áreas no decorrer dos anos. O contato do proprietário da área sob PME foi localizado com auxílio do funcionário que se encontrava no local e, a partir daí, realizou-se a coleta das informações via telefone.

Dados de entrada no modelo Century

Para a modelagem da dinâmica do C no Century, é necessário um conjunto mínimo de variáveis locais de entrada, que são divididas em climáticas, de solo e planta, obtidas da seguinte forma:

- Precipitação mensal e temperatura média mensal (máxima e mínima): utilizou-se a média mensal calculada a partir de dados diários obtidos pela estação meteorológica do Instituto de

Geografia da UFU, gentilmente cedidos pelo Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia. Estes dados são incluídos no arquivo de dados locais (SITE.100) do modelo Century);

- Granulometria do solo (areia, silte e argila): foram utilizados os dados da análise granulométrica realizados pelo método descrito em EMBRAPA (1997);
- pH do solo: determinado em água, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997);
- Densidade do solo: foi obtida a partir da metodologia do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997);
- Teor de lignina das plantas: foram utilizados os valores padrões do modelo (arquivo CROP.100) para as culturas utilizadas na simulação.

A parametrização do modelo Century foi testada, tomando-se como base a área de vegetação natural presente na bacia em análise. Após testadas simulações de equilíbrio das reservas de matéria orgânica do solo por um longo período de tempo com manejo constante, e na condição inicial da área, para que todas as variáveis de saída do modelo se estabilizassem.

Os dados de entrada utilizados foram as variáveis do local (temperatura média mensal máxima e mínima, precipitação mensal (Tabela 1), textura do solo, densidade e pH (Tabela 2). Dessa forma, após a parametrização com as informações do clima e solo, o modelo Century foi executado por um período de 10.000 anos, na condição de Cerrado, a fim de se alcançar a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo. Só a partir da geração do equilíbrio foi possível a simulação da dinâmica do C do solo para os diferentes usos (PME, PDE e CAN) e períodos analisados.

O Century possui vários arquivos que permitem ao usuário modificações de valores de *default*. No caso da vegetação nativa, foi alterado o parâmetro PRDX (2) do arquivo TREE.100 do modelo. Este parâmetro indica o potencial máximo de adição mensal de C pela parte aérea da vegetação em questão. Quando não ocorrerem limitações ao crescimento vegetal, pode ser modificado pelo usuário para aproximar os valores simulados dos reais (METHERELL et al. 1993). Outro parâmetro modificado foi o PS2S3(1), que controla o fluxo da matéria orgânica do solo com intermediário *turnover* (compartimentos lento e passivo). Todos os valores utilizados no modelo podem ser consultados detalhadamente em Rosendo (2010).

Resultados e discussão

Calibração do modelo e simulação dos diferentes usos da terra

Na área de pesquisa a vegetação original foi substituída principalmente pela agricultura e pastagens, sendo este último, o uso predominante (ROSENDO, 2010). A modelagem para os diferentes usos foi iniciada com os dados gerados pela simulação de equilíbrio da vegetação natural. Os valores estimados pelo modelo foram comparados com os observados em campo, a partir das análises do estoque de C realizadas em laboratório. Dessa forma, foi possível testar a validade das simulações realizadas até o ano 2009. Parte-se do pressuposto que o modelo está validado quando se alcançam valores próximos aos observados em campo (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores medidos e simulados para o estoque de C em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN)

Usos	Estoque de C medido 2009 (Mg ha^{-1})	Estoque de C simulado 2009 (Mg ha^{-1})
CER	37,41	37,24
PME	44,89	42,27
PDE	39,47	37,86
CAN	43,93	44,87

Verifica-se que na condição de Cerrado, o valor estimado pelo modelo para o COT foi de 37,24 Mg C ha^{-1}, enquanto que o valor medido em campo foi de 37,41 Mg C ha^{-1}. O modelo também se mostrou eficiente na simulação dos outros usos, apresentando valores simulados muito próximos aos medidos (Tabela 3).

O COT pode ser calculado pelo Century através do somatório dos compartimentos de solo: ativo, lento e passivo (variável de saída SOMSC) ou através dos compartimentos de solo mais os compartimentos de planta: metabólico e estrutural (variável de saída: SOMTC).

Neste trabalho, simulou-se os teores totais de C, considerando um sistema solo-planta nas condições de vegetação natural, pastagem degradada e melhorada e cana-de-açúcar. De acordo com os autores citados a seguir, os dados climáticos e a textura do solo são os que promovem alterações relevantes nas simulações. Das variáveis de saída oferecidas pelo modelo, algumas fundamentais foram selecionadas para serem analisadas e discutidas nas simulações:

- som1c(2): carbono ativo na matéria orgânica do solo em (g/m^2);
- som2c: carbono no compartimento lento da matéria orgânica do solo (g/m^2);
- som3c: carbono no compartimento passivo da matéria orgânica do solo (g/m^2);
- somsc: carbono orgânico total obtido através da soma do C ativo, lento e passivo.

Maiores informações sobre o funcionamento do modelo Century, bem como seus submodelos, equações, pressupostos e a maneira como os coeficientes foram determinados, podem ser obtidos detalhadamente em sua publicação original (Parton et al., 1987), bem como em Metherell et al. (1993) e Leite e Mendonça (2003).

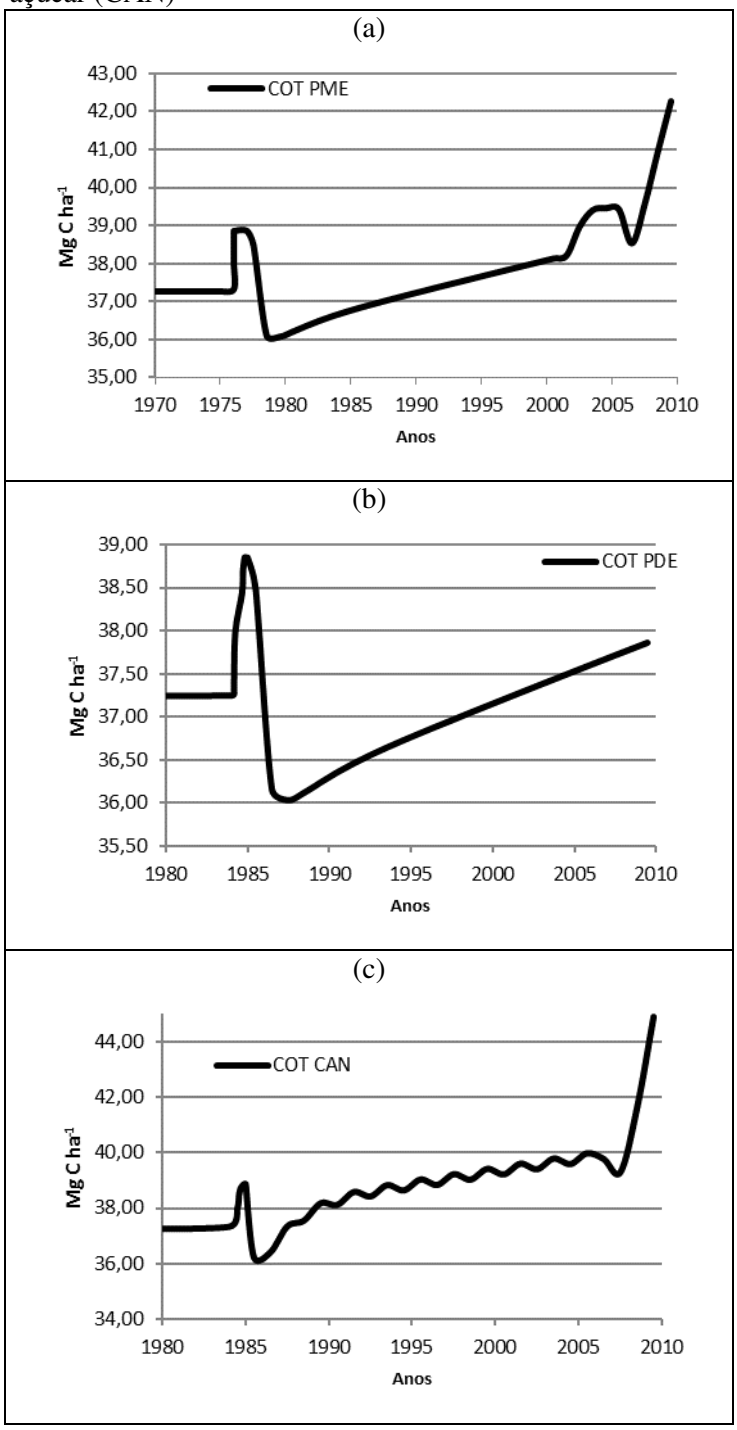
A simulação para cada uso se deu a partir do arquivo de equilíbrio do CER. A Tabela 4 apresenta os valores determinados pela simulação do Century para os compartimentos Ativo, Lento e Passivo e do COT (Figuras 1 e 2).

Tabela 4 - Valores simulados para o COT, C Ativo, Lento e Passivo em áreas de Cerrado (CER), pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN)

Usos	C simulado (Mg C ha^{-1}) em 2009			
	COT	C Ativo	C Lento	C passivo
CER	37,25	0,35	2,91	33,99
PME	42,27	0,24	5,82	36,21
PDE	37,86	0,28	1,79	35,79
CAN	44,87	0,43	7,86	36,58

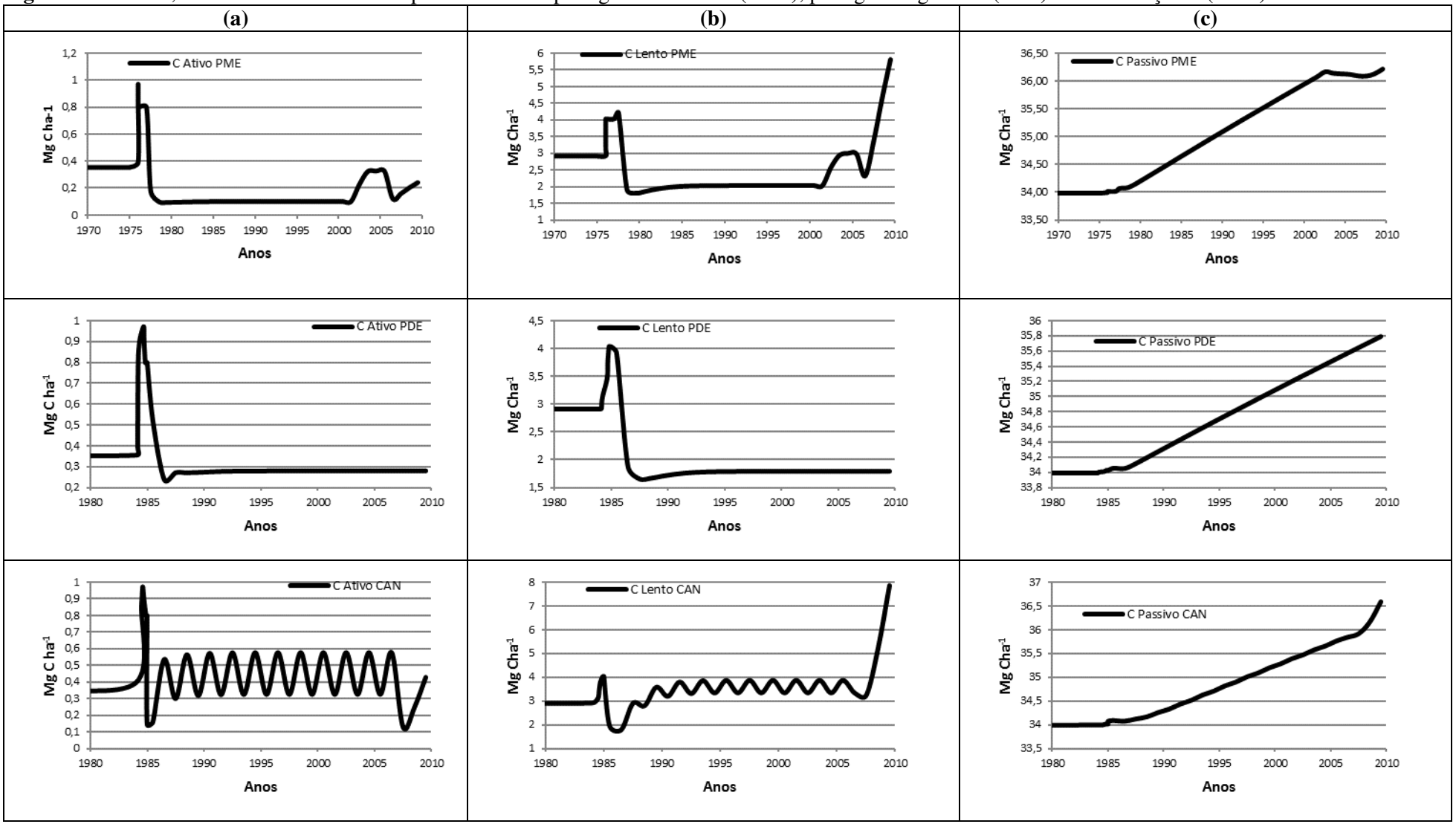
Wendling (2007) mencionou que a derrubada do Cerrado e preparo do solo para implantação das culturas permite considerável aumento para os compartimentos de C ativo e lento, o que pode ser observado na Figura 1. Isso porque com a derrubada do Cerrado são retirados apenas os materiais vegetais de maior diâmetro, sendo o restante dos resíduos depositados na superfície (galhos finos, folhas e serrapilheira) e incorporados ao perfil do solo, de modo que no ano seguinte os teores de C Ativo e Lento voltam a diminuir devido ao efeito da decomposição desse material, que é acelerada pelo revolvimento do solo para implantação das culturas - Figura 2 (a, b).

Figura 1 - COT simulado para as áreas de pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN)



.

Figura 2 - C Ativo, Lento e Passivo simulado para as áreas de pastagem melhorada (PME), pastagem degradada (PDE) e cana-de-açúcar (CAN)



A área ocupada, em 2009, pela CAN foi por 20 anos (1986 a 2006) destinada ao cultivo de soja e milho sob plantio convencional. Nota-se, de acordo com a Figura 1 (c), que durante o período de cultivo da soja e do milho, o COT variou de 36,35 Mg (1986) C ha-1 a 40,33 Mg C ha-1 (2006). Dessa forma, ao se comparar os estoques de C do CER com os estoques destas culturas, observa-se uma adição de 3,98 Mg C ha-1 ao final do período de 20 anos (COT apresentado pelo Century para a soja e milho em 2006 subtraído do COT medido para o CER). Vale destacar que as cifras relacionadas às datas anteriores a 2009 referem-se a dados obtidos pelo modelo Century.

Ao citarmos os dados de estoque de C sob plantio convencional avaliados por D' Andréa et al. (2004), ou seja, 34,06 Mg C ha^{-1} para o plantio convencional de longa duração, bem como aqueles ponderados por Corazza et al. (1999), que atingiram 37,34 Mg C ha^{-1} para plantio convencional com arado de disco, e 36,51 Mg C ha^{-1} sob grade pesada, ou então os 48,29 Mg C ha^{-1} constatados por Wendling (2007), conclui-se que a simulação realizada para a CAN, no tocante ao período que não foi medido em campo (de 1986 a 2006), está em conformidade com os dados apresentados pelos diferentes pesquisadores mencionados, pois os dados aqui simulados assemelham-se aos valores observados na literatura para o plantio convencional, ou seja, quase 37,00 Mg C ha^{-1} (em 1986) e cerca de 40,00 Mg C ha^{-1} (em 2006). Dessa forma, é possível concluir que o Century estimou corretamente a variação do COT ao longo do período analisado.

Tal fato também se constata pela aferição da Figura 1(a) (PME), de forma que o estoque de C simulado em cerca de 39,50 Mg C ha^{-1} para área sob plantio convencional após pastagem (no período que vai de 2003 a 2005), apresentou uma diferença de apenas 1,84 Mg C ha^{-1} dos valores alcançados por D' Andréa et al. (2004) para o plantio convencional. Neste período, foi cultivada soja sob plantio convencional na área, o que explicaria o aumento do estoque de C de 2003 a 2006, quando torna a aumentar depois de retomado o cultivo da pastagem *Brachiaria*.

O modelo Century foi capaz de simular o rápido aumento no carbono seguido de diminuição nos estoques Ativo e Lento do solo, nas áreas em que ocorreram preparo para implantação de novas culturas. Esta relação foi observada na PME (em 2002) e verificada na Figura 2 (a) e (b), quando ocorreu a implantação de soja, e novamente em 2006 quando houve o plantio da pastagem, e, na CAN, em 2007, substituindo a rotação das culturas de soja e milho. Para o C Passivo, o efeito dessas substituições foi menos perceptível.

O C Ativo (Figura 2 a) representa a fração de carbono mais lábil no solo, ou seja, aquela que é de fácil degradação. Nesta fração, estão a biomassa microbiana, os resíduos

vegetais degradados predominantemente por processos físicos e algumas substâncias de fácil decomposição, tais como ácidos orgânicos, amidos, proteínas, etc. Sendo assim, esta fração é a que está no solo em menor quantidade porque é facilmente degradada (LOPES, 2006).

Com relação ao compartimento Ativo, a PME e a PDE apresentaram valores inferiores aos do CER (Tabela 4), indicando um possível distúrbio nessas áreas. No caso da PME, tal distúrbio pode ter sido ocasionado por fogo acidental, pois a entrada de material vegetal não comprometeu os compartimentos Lento e Passivo. A PDE apresentou valores inferiores ao CER também no compartimento Lento, esse fato pode estar associado ao sobrepastejo, processos erosivos, e ainda o baixo teor de argila do solo sob a gramínea.

O carbono lento permanece por mais tempo no solo, por isso o valor observado para esta fração é maior em todos os usos. Neste estágio, o carbono passa a interagir mais com a matriz do solo, e passa a receber proteção física e química, o que permite sua acumulação no solo. Além disto, esta fase é mais estável, pois já está em grande parte decomposta e protegida dentro dos agregados (LOPES, 2006).

O carbono passivo representa a fração que permanece no solo devido, principalmente, à interação com minerais e a mecanismos de recalcitrância relacionados com as moléculas presentes nos resíduos. Quanto maior o conteúdo de elementos de difícil degradação, como ligninas e ceras, na vegetação que dá origem a MOS, maior será o conteúdo de C passivo no solo, bem como, solos argilosos ricos em óxidos de ferro com elevada área superficial para proteção coloidal. Esta fração é importante porque permanece por muito tempo no solo, chegando a marca de 2000 anos (LOPES, 2006).

Este comportamento pode dificultar o entendimento da dinâmica do carbono sob diferentes sistemas de manejo, pois esta fração chega a apresentar 50% do COT do solo segundo o padrão do modelo Century (FERNANDES, 2002 apud LOPES, 2006). Assim, se a simulação inicial não for bem ajustada e conduzida, podem ocorrer erros na interpretação dos valores observados quando o solo é utilizado para a agricultura, pois pode não ocorrer diferenças entre os sistemas de manejo convencional e aqueles de caráter conservacionista devido a elevada permanência do carbono passivo que estará embutido no COT.

A Figura 2 (c) demonstra o comportamento do C passivo descrito anteriormente, ou seja, aponta a ocorrência de poucas oscilações dos teores de C desse compartimento. Na PME, verifica-se um leve declínio a partir do ano 2006, como consequência da substituição da cultura anterior, enquanto revela o breve aumento no C Passivo da CAN (após o

desmatamento da área em 1984) e um discreto aumento no C Passivo depois da implantação da CAN em 2007.

Balanço do estoque de C simulado

Os resultados do balanço de C obtidos pelo cálculo das diferenças de estoque de C entre a vegetação natural (CER) e os outros usos, ou seja, ΔEstC (Tabela 5 e Figura 3), mostraram que houve acúmulo de 7,48 Mg C ha^{-1} para a PME, 2,06 Mg C ha^{-1} para a PDE e 6,52 Mg C ha^{-1} para a CAN.

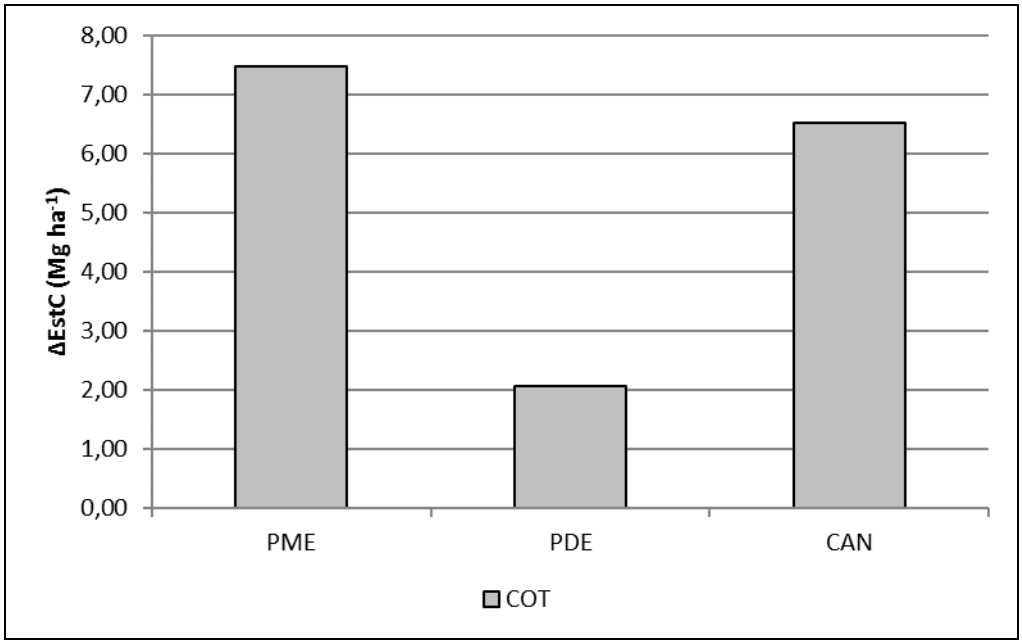
Tabela 5 - Estimativa da taxa de adição anual de C dos diferentes usos em relação a vegetação natural (CER) até o ano 2009

Usos	COT medido 2009 (Mg ha^{-1})	ΔEstC (Mg ha^{-1})	Tempo de implantação da cultura (anos)	Taxa de adição anual de COT* (Mg ha ano^{-1})
CER	37,41	-	-	-
PME	44,89	7,48	3	2,49
PDE	39,47	2,06	23	0,09
CAN	43,93	6,52	2	3,26

* Calculada a partir do ΔEstC dividido pelo tempo (anos) de implantação das culturas

Ao dividir o ΔEstC pelo tempo de implantação de cada cultura, obtém-se a taxa de adição ou de perda anual de COT. Os resultados demonstraram que a PME e a PDE (Tabela 5) apresentaram tendência de aumento de COT desde o ano em que as áreas foram desmatadas (1978 e 1984, respectivamente) até o ano 2009, a uma taxa média de incremento anual de C no solo de 2,49 Mg C ha^{-1} ano^{-1} (para a PME) e 0,09 Mg C ha^{-1} ano^{-1} (para a PDE). A área ocupada pela CAN apresentou adição anual de C de 3,26 Mg C ha^{-1} ano^{-1}. É importante destacar o pouco tempo de implantação da PME e CAN, de forma que as elevadas taxas de adição podem ser influência do cultivo recente.

Figura 3 - ΔEstC dos usos da terra em relação a vegetação natural de Cerrado



Independente do sistema de manejo fica evidente o potencial das pastagens em manter ou melhorar o estoque de C no solo (Tabela 5). Em 2009, a PME apresentou 7,48 Mg C ha^{-1} a mais que o CER, ao passo que na PDE, embora o acúmulo tenha sido baixo, também manteve a tendência em estocar C desde 1986, período de implantação, até 2009, ao qual 2,06 Mg C ha^{-1} foi armazenado no solo que não contou com nenhum tipo de manejo. Este fato pode ser comprovado pela visualização da Figura 1 (b).

Considerações finais

Os resultados da pesquisa apontaram que a calibração do modelo alcançou bons resultados, essa constatação é comprovada quando se compara os valores de COT mensurados em campo e os estimados pelo Century. Com base nisso, pressupõe-se que sua utilização é apropriada para realizar previsões futuras da dinâmica do estoque de C no solo. Fator primordial para essa conclusão foi o histórico de uso da área que possibilitou identificar as mudanças ao longo do tempo que acarretaram oscilações no estoque de C determinado pelo Century. O modelo apontou o potencial das pastagens em manter ou melhorar o estoque de C no solo. Em 2009, a PME apresentou 7,48Mg C ha^{-1} a mais que o CER, ao passo que a PDE, embora o acúmulo tenha sido baixo, também manteve a tendência em estocar C desde 1986, período de implantação, até 2009, em que 2,06 Mg C ha^{-1} foi armazenado em um solo que não contou com nenhum tipo de manejo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo ao Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte de depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999. Disponível em: < http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v23n2a25.pdf>. Acesso em: 15 ago 2007.

D' ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME. L.R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n2/19853.pdf>. Acesso: 10 mar 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2 ed ed, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212pp.

LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 33, num. 4, p. 679-686, jul-ago 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v33n4/16689.pdf>. Acesso em: 19 mar 2008.

LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S. Perspectivas e Limitações da Modelagem da Dinâmica da Matéria Orgânica dos Solos Tropicais. **Tópicos em Ciência do Solo,** v. V, 2007. p. 181-218.

LOPES, F. **Utilização do Modelo Century para Avaliar a Dinâmica do Carbono no Solo em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural.** Porto Alegre: UFRGS, 2006. 143p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

METHERELL, A. K., HARDING, C. V., COLE, C.V., PARTON, W.J., 1993. Century soil organic matter model environment. Technical Documentation Agroecosystems Version 4.0. Great Plains System Research Report 4 USDA-ARS. Colorado State University, Fort Collins, CO.PARTON, W.J.; D.S. SCHIMEL; C.V. COLE; D.S. OJIMA. Analisys of factors controlling soil organic matter levels in great plais grasslands. **Soil Science Society America Journal**. 51:1173-1179. 1987

PARTON, W.J.; D.S. SCHIMEL; C.V. COLE; D.S. OJIMA. **Analisys of factors controlling soil organic matter levels in great plais grasslands. Soil Science Society America Journal.** 51:1173-1179. 1987

ROSENDO, J. S. **Estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG: estimativas, modelagem e cenários.** 311 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2010. Disponível em:< http://www.ig.ufu.br/sites/ig.ufu.br/ files/Anexos/Bookpage/Jussara_Rosendo.pdf>

YEOMANS, J.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil. Sci. Plant Anal**., 19: 1467-1476, 1988.

WENDLING, BENO. **Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century.** Viçosa: UFV, 2007. 122p. Tese (Doutorado).

Recebido em: 08/02/2018
Aceito para publicação em: 30/03/2018