

**Mudança de uso do solo e estoques de carbono no
Pantanal: simulação utilizando o modelo Century**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 101

Mudança de uso do solo e estoques de carbono no Pantanal: simulação utilizando o modelo Century

Fernando Antonio Fernandes
Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes

Exemplares dessa publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pantanal

Rua 21 de Setembro, 1.880 - Caixa Postal 109
79320-900 Corumbá, MS
Fax: (67) 3234-5815
Telefone: (67) 3234-5800
Home page: www.cpap.embrapa.br
Email: sac@cpap.embrapa.br

Comitê de Publicações:

Presidente: *Aiesca Oliveira Pellegrin*
Secretário-Executivo: *Suzana Maria de Salis*
Membros: *Débora Fernandes Calheiros*
Marçal Henrique Amici Jorge
José Anibal Comastri Filho
Secretária: *Eliane Mary P. Arruda*

Supervisor editorial: *Suzana Maria de Salis*
Normalização bibliográfica: *Viviane de Oliveira Solano*
Tratamento de ilustrações: *Eliane Mary P. Arruda*
Foto da capa: *Ana H. B. Marozzi Fernandes*
Editoração eletrônica: *Eliane Mary P. Arruda e Suzana M. Salis*
Disponibilização na home page: *Luiz Edevaldo Macena de Britto*

1ª edição

1ª impressão (2010): formato digital

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei n 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Embrapa Pantanal

Fernandes, Antonio Fernando.

Mudança de uso do solo e estoques de carbono no Pantanal: simulação utilizando o modelo Century [recurso eletrônico] / por Fernando Antonio Fernandes, Ana Helena Bergamin Marozzi. – Dados eletrônicos. – Corumbá : Embrapa Pantanal, 2010.

15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Pantanal, ISSN 1516-1633 ; 101).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.cpap.em-brapa.br/publicacoes/online/BP101pdf>>

Título da página da Web (acesso em 31 dez. 2010)

1. Solo 2. Queimada 3. Matéria orgânica I. Fernandes, Ana Helena B. Marrozi. II. Título. III. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Descrição sucinta do modelo	8
Parametrização e validação do Century	8
Análise estatística das saídas	10
Resultados e Discussão	10
Conclusões	13
Referências	13

Mudança de uso do solo e estoques de carbono no Pantanal: simulação utilizando o modelo Century

Fernando Antonio Fernandes¹

Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes²

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo parametrizar e validar o modelo CENTURY na simulação dos estoques de carbono orgânico do solo (COS), na camada 0-20 cm, sob vegetação nativa de cerrado e suas alterações pela substituição por pastagens cultivadas, no Pantanal Sul-Mato-Grossense. Na parametrização, foram utilizados os valores padrão ("default") do modelo, exceto quando estes já estavam ajustados para condições tropicais. Inicialmente, foi realizada uma simulação da área sob cerrado até um estado de equilíbrio (cerca de 3.500 anos) e, em seguida, simulou-se o desmatamento. Para validação, foram utilizados dados coletados de uma cronossequência de introdução de pastagens de *Urochloa decumbens*, com idades de 6, 10 e 20 anos de implantação tendo como referência uma área de cerrado original (CE), próxima das áreas de pastagem, situadas no Pantanal de Nhecolândia (18° 34' de latitude Sul e 55° 48' de longitude Oeste). Os valores de estoques de COS medidos e simulados pelo CENTURY foram bastante próximos, com diferenças de $\pm 6\%$. A análise estatística dos dados mostrou que o modelo simulou a situação no campo de modo muito satisfatório ($p > 0,05$), com valores significativos de coeficiente de correlação ($r = 0,94$); diferença média total entre os valores medidos e simulados ($RMSE = 4,87\%$) e do viés entre os valores da simulação em relação às medições não existente ($M = 31,75$ e $E = 2,17$). Os dados observados em campo indicaram que após 20 anos, a mudança de uso do solo provocou uma perda de, aproximadamente, 19% de COS. A simulação feita para 50 anos mostrou uma perda contínua de COS, atingindo valor de $11,13 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ após esse período de tempo, o que significa uma redução ao redor de 30% em relação ao estoque inicial. O modelo CENTURY mostrou-se adequado para simular as situações estudadas. Embora represente um estudo de caso, os resultados sugerem que, mantidas as condições de contorno, a introdução de pastagens cultivadas em áreas florestadas no Pantanal, pode levar a uma perda contínua de COS ao longo do tempo, com implicações na sustentabilidade desse tipo de uso do solo, visto que a produção primária líquida (PPL) do sistema é dependente dos nutrientes estocados na matéria orgânica do solo e de sua reciclagem.

Termos para indexação: matéria orgânica do solo, solos tropicais, pastagens cultivadas.

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr., Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS.
fafernan@cpap.embrapa.br

² Engenheira Agrônoma, MSc, Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS.
amarozzi@cpap.embrapa.br

Land use change and carbon stocks in the Pantanal: simulation using Century model

Abstract

This study aimed to parameterize and validate the CENTURY model for simulation of soil organic carbon stocks (SOC) at 0-20 cm depth under native cerrado vegetation and its changes by the substitution of cultivated pastures in the Pantanal SUL- Mato-Grossense. In the parameterization, it was used the default values model, except when they were already adjusted to tropical conditions. Initially, a simulation was done for the area under cerrado until a steady state (about 3,500 years) and then it was simulated deforestation. For validation, it was used data collected from a chronosequence of introduction of ***Urochloa decumbens*** pastures, aged 6, 10, and 20 years of implementation with reference to an original area of CE close to the grazing areas, situated in the Pantanal of Nhecolândia (18 ° 34 'South latitude and 55 ° 48' West longitude). The values of SOC stock measured and simulated by CENTURY were very similar, with differences about $\pm 6\%$. The statistical analysis showed that the model simulated the situation in the field so very satisfactory ($p > 0.05$), with significant values of correlation coefficient ($R=0.94$), total average difference between simulated and measured values ($RMSE=4.87\%$) not significant and the no bias between the values of simulation in relation to the measurements ($M=31.75$ and $E=2.17$). The data observed in the field indicated that after 20 years, changing land use caused a loss of approximately 19% SOC. The simulation done for 50 years showed a continued loss of COS, reaching a value of 11.13 Mg C.ha⁻¹ after this period of time, which means a reduction of around 30% in the initial stock. The CENTURY model was adequate to simulate the situations examined. Although it represents a case study, the results suggest that, keeping the boundary conditions, the introduction of cultivated pastures in forested areas in the Pantanal can lead to a continued loss of SOC over time, with implications for the sustainability of this type of soil use, whereas the net primary production (NPP) system is dependent on the nutrients stored in soil organic matter and recycling.

Index terms: soil organic matter; tropical soils, cultivated pastures

Introdução

Apesar da importância dos solos para o ciclo global do carbono e o destino do dióxido de carbono (CO_2) antropogênico, a matéria orgânica do solo (MOS) permanece pouco compreendida. Os solos armazenam na matéria orgânica aproximadamente duas vezes a quantidade de carbono (C) presente na atmosfera como CO_2 , sendo que quase um terço desse carbono é constituído de formas lábeis, com ciclagem bastante rápida (SCHIMMEL, 1995). Em função disso qualquer alteração nas condições climáticas ou produção primária pode conduzir a alterações significativas no CO_2 atmosférico, com influência em escala global. Segundo Diaz-Filho et al. (2001), cerca de 100 a 200 toneladas de $\text{C} \cdot \text{ha}^{-1}$ são perdidas para atmosfera como CO_2 , quando áreas de florestas são convertidas em pastagens.

Além dos aspectos de mudanças globais, a MOS desempenha um papel central na regulação da produtividade vegetal nas regiões tropicais. Os processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais são responsáveis pela principal fonte de nutrientes para as plantas nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados (SANCHEZ et al., 1989).

De modo geral, os níveis de MOS diminuem quando sistemas nativos são utilizados para cultivo. Alterações na temperatura, umidade, aeração, absorção e lixiviação, observadas no solo como consequência do cultivo (SANCHEZ, 1976), além da destruição completa da serrapilheira original, modificam a distribuição e a atividade da fauna e microbiota do solo (CERRI et al., 1985), influenciando assim o tempo de residência do carbono orgânico armazenado no solo (COS). Alguns estudos em solos tropicais mostram que, entre diversas áreas desmatadas e cultivadas com pastagens, algumas apresentaram aumento (TEIXEIRA; BASTOS, 1989; CHONÉ et al., 1991; LUGO; BROWN, 1993; FISHER et al., 1994) e outras diminuição nos estoques de COS (MORAES, 1991; VELDKAMP, 1994). No Pantanal, Fernandes et al. (1999) e Cardoso et al. (2010) observaram reduções nos estoques de COS em áreas de pastagens cultivadas em relação às áreas sob vegetação florestadas.

Nos últimos anos, o uso de modelos de simulação tem se destacado em estudos sobre a estrutura e funcionamento de ecossistemas. O modelo CENTURY, descrito por Parton et al. (1987), foi desenvolvido para simular a dinâmica de C e de nutrientes (nitrogênio - N; fósforo - P e enxofre - S) em ecossistemas de campos nativos nos Estados Unidos da América (EUA). Tem sido largamente utilizado em vários outros ecossistemas naturais e cultivados, inclusive de regiões tropicais (PARTON et al., 1989; SANFORD et al., 1991; PAUSTIAN et al., 1992; WOOMER, 1993). A sua adoção como padrão para estudos sobre dinâmica de MOS foi proposta pelo TSBF - Tropical Soil Biology and Fertility Programme, da International Union of Biological Science - IUBS/UNESCO (ANDERSON; INGRAM, 1993). Smith et al. (1997), avaliando o desempenho de nove modelos de dinâmica de MOS a partir de dados obtidos em sete experimentos de longa duração, constataram que o modelo CENTURY estava entre os melhores dentre os avaliados no que diz respeito às previsões dessa dinâmica em vários ecossistemas de áreas temperadas e tropicais. A relativa simplicidade de tratamento de processos biofísicoquímicos e a boa relação encontrada entre os valores medidos e simulados (r^2 acima de 0,75, segundo PARTON et al., 1994) vêm consolidando o modelo como uma importante ferramenta no estudo da dinâmica de MOS para diversas situações de uso e manejo dos solos (LEITE; MENDONÇA, 2003).

O modelo baseia-se na divisão da MOS em compartimentos funcionais (diferentes tempos de residência e suas razões C: nutrientes minerais) e algoritmos padronizados de produção primária apropriados a um ecossistema ou clima específico, podendo ainda os mesmos serem definidos pelo usuário (PARTON et al., 1994). Todo material circula entre os compartimentos do modelo por transferência linear (fluxo proporcional à quantidade de material no compartimento original) até, praticamente, todo carbono ter sido decomposto e todos nutrientes mineralizados, exceto para o material lixiviado. Permite simulações de longo prazo (décadas a séculos) dos processos de produção vegetal e dinâmica da MOS e nutrientes (N, P, S).

O presente trabalho teve como objetivo parametrizar e validar esse modelo na simulação dos estoques de COS, na camada 0-20 cm, sob vegetação nativa de cerrado e suas alterações pela substituição desta por pastagens cultivadas.

Material e Métodos

Descrição sucinta do modelo

Neste estudo foi utilizada a versão 4.0 do modelo CENTURY (METHERELL et al, 1993), a qual inclui diferentes submodelos de produção vegetal (pastagens, culturas, florestas e savana) ligados a um submodelo de MOS comum a todos, além de possuir também um submodelo de água (Figura 1). Funciona em escala de m^2 e simula a camada superficial 0-20 cm, usando etapa mensal (PARTON et al., 1987).

A maioria das variáveis ambientais requeridas pelo submodelo de dinâmica de MOS (temperatura e umidade do solo, absorção de nutrientes pelas plantas; quantidade e qualidade do material vegetal residual) é calculada pelos submodelos de água e produção vegetal, cujos parâmetros de entrada requeridos são: temperatura média mensal do ar; precipitação mensal, granulometria do solo (teores de argila, silte e areia), conteúdo de N e lignina do material vegetal, aporte de N da atmosfera e do solo, e estoques iniciais de C e N em diferentes compartimentos do solo (PARTON et al., 1987).

O submodelo de MOS é composto basicamente por três compartimentos ou frações, com diferentes taxas potenciais de decomposição - frações ativa, lenta e passiva; dois compartimentos para resíduos vegetais (serrapilheira) - um para biomassa vegetal aérea e outro para biomassa radicular - e um compartimento microbiano superficial, o qual está associado com a decomposição da serrapilheira superficial. O modelo assume que os fluxos de decomposição de C são resultado da atividade microbiana. Para a decomposição da serrapilheira, o modelo pressupõe que o material vegetal é composto de frações prontamente decomponíveis (metabólica) e resistentes à decomposição (estrutural), e calcula a divisão entre estes compartimentos de acordo com a relação lignina:nitrogênio do material vegetal. As frações celulose e lignina são componentes estruturais, enquanto que a fração solúvel extraível em água é equivalente ao compartimento metabólico. Uma descrição completa dos pressupostos do modelo e detalhamento das equações desenvolvidas pode ser obtida em Parton et al. (1987, 1994), cujos trabalhos também apresentam os cálculos dos coeficientes das mesmas.

Parametrização e validação do Century

Na parametrização do modelo foram utilizados os valores padrão para os parâmetros de configuração, com exceção das variáveis de produtividade primária líquida máxima (PPL) e de deposição de nitrogênio atmosférico. Nesses casos foram utilizadas modificações sugeridas para regiões tropicais (Tabela 1).

Como parâmetros climáticos foram utilizados os dados da normal climatológica calculada a partir de série temporal de 30 anos obtida por meio das informações da Estação Meteorológica da Embrapa Pantanal, localizada na fazenda Nhumirim e integrante da rede do INMET.

Os dados referentes à granulometria do solo foram obtidos de Fernandes et al. (1999). Os estoques iniciais de C e N do solo foram estimados por método indireto. Inicialmente foi feita uma simulação da área sob cerrado até um estado de equilíbrio (cerca de 3.500 anos), considerando uma renovação total da vegetação a cada 40 anos, para representar o ciclo natural desta. Os dados obtidos foram usados como variáveis de entrada para simular a mudança no uso da terra, considerando o desmatamento, a queima da vegetação e o plantio da pastagem.

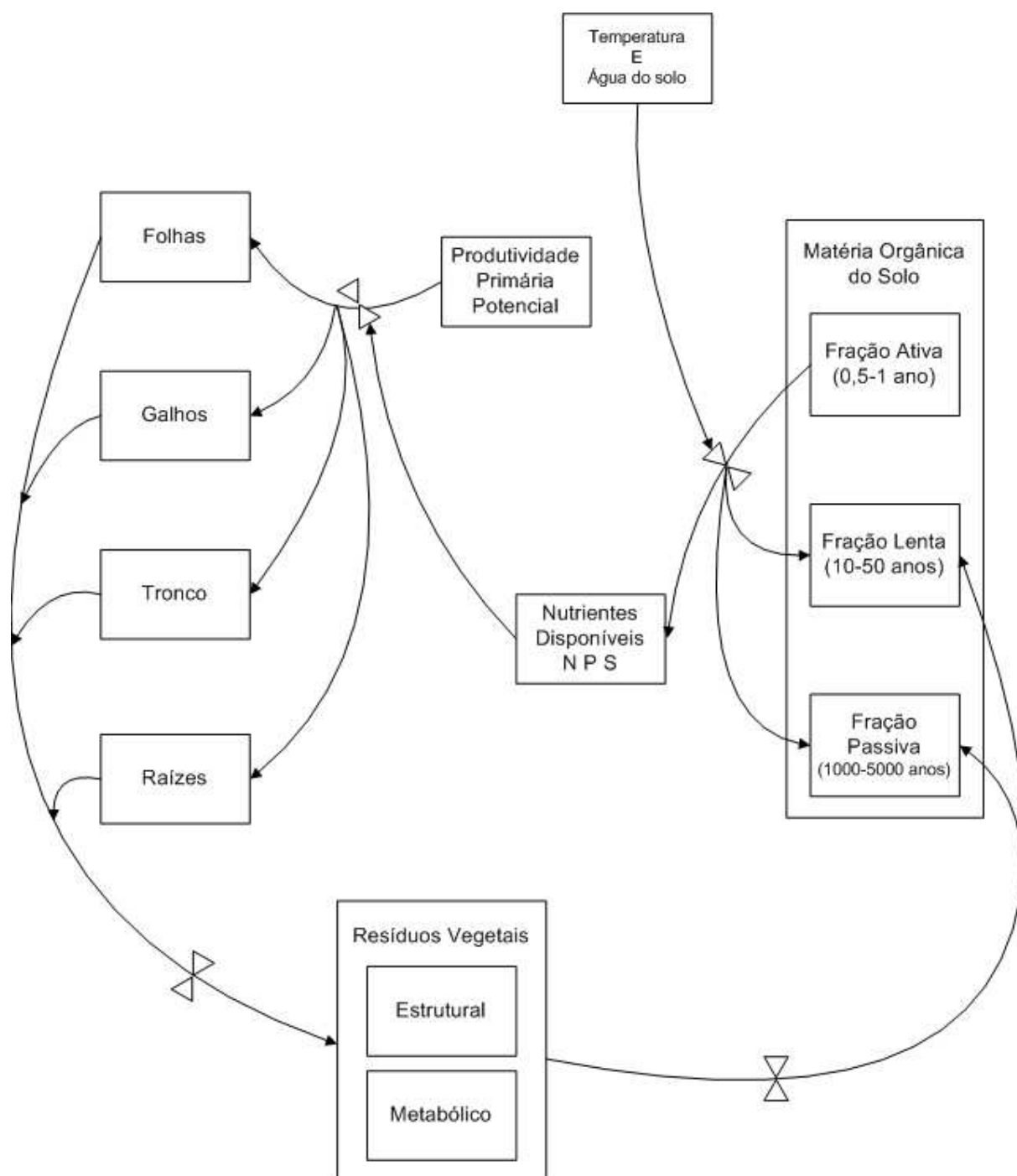


Figura 1. Esquema simplificado de compartimentos e fluxos do modelo CENTURY (adaptado de PARTON et al., 1987).

Tabela 1. Variáveis do modelo Century 4.0 ajustados na simulação feita para o Pantanal.

Variáveis	Valor utilizado
Taxa de deposição de N atmosférico - EPNFA(1) – g.m ⁻² .ano ⁻¹	0,73*
Taxa de fixação biológica de nitrogênio – EPNFS (1) - g.m ⁻² .ano ⁻¹	0,26**
Fração de C ativo liberado como CO ₂ - P1CO2B(2)	0,39***
Potencial de produção máxima de biomassa – PRDX(1) g.m ⁻² .mês ⁻¹	
Pastagem	300**
Cerrado	1.500**

* Lillienfein; Wilcke (2001)

** Cerri et al. (2004);

*** Fernandes et al. (2008)

Para validar o modelo para a condição do Pantanal foram utilizados os dados medidos por Fernandes et al. (1999), a partir de coletas realizadas em fazenda situada no Pantanal de Nhecolândia (18° 34'S; 55° 48'W Gr), cujo solo pertence ao grupo do NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos. Foi estudada uma cronossequência de introdução de pastagens de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster (= *Brachiaria decumbens*, Stapf) com idades à época de 6, 10 e 20 anos de implantação, tendo como referência uma área de cerrado original próxima às áreas de pastagem. Essas pastagens são destinadas ao uso por categorias especiais (touro e vacas paridas), em taxa de lotação baixa (em torno de 1,0 UA.ha⁻¹), permanecendo vedadas durante parte do ano. Salienta-se ainda que os solos sob essas pastagens não receberam qualquer aplicação de corretivos ou adubo.

A partir dos resultados analíticos de conteúdos de COS, foram calculados os estoques para a camada 0-20 cm, considerando nesse cálculo as alterações da densidade aparente e espessura da camada estudada, para correção dos mesmos para uma mesma massa de solo (FERNANDES et al., 2008).

Análise estatística das saídas

A qualidade do ajuste do modelo foi avaliada estatisticamente utilizando os métodos propostos por Smith et al. (1996, 1997). Seguindo a abordagem dos autores, o grau de associação entre os valores medidos e simulados (isto é, se os valores simulados seguem o mesmo padrão dos valores medidos) foi determinado utilizando o coeficiente de correlação (R), sendo a sua significância estatística avaliada pelo teste F a 5%. A coincidência entre os valores medidos e simulados foi avaliada pelo cálculo da raiz quadrada média dos desvios (RMSE), que prediz a diferença entre os valores medidos e simulados, em termos percentuais. Quanto menor o seu valor, mais exata a simulação. A significância estatística de RMSE foi determinada pela comparação com o valor obtido assumindo um desvio correspondente a 95% do intervalo de confiança dos valores medidos (RMSE_{95%}). O viés nas simulações em relação às medições (isto é, se a mesma se mostrou ou não tendenciosa) foi calculado pela determinação do erro relativo (E), dado pela diferença total entre os valores medidos e simulados. A significância de E foi testada pela comparação com o valor obtido assumindo um desvio correspondente a 95% do intervalo de confiança dos valores medidos (E_{95%}). A diferença média entre os valores simulados e medidos (M) também foi calculada para medir o viés do modelo. Essa diferença não inclui um termo de quadrado, de forma que os valores simulados acima e abaixo das medidas se anulam mutuamente. Portanto, erros inconsistentes não serão considerados. Caso os resultados da simulação sejam tendenciosos, os valores de M serão negativos. A significância de M foi testada usando um teste t de Student a 2,5%.

Resultados e Discussão

O solo das áreas estudadas apresentou textura arenosa, com conteúdos de areia acima dos 90% e de argila em torno de 1%, para as duas profundidades consideradas. Em ambas, os valores de pH apresentaram-se ligeiramente ácidos e os estoques de COS bastante baixos, inclusive na área sob vegetação original (Tabela 2).

Os dados observados em campo indicaram que a mudança de uso do solo provocou uma redução nos estoques de COS, com perda de aproximadamente 19% do COS, após 20 anos, na camada 0-20 cm (Tabela 3). Como não foi observado alteração na densidade do solo em função da intervenção antrópica (Tabela 2), essa redução parece estar relacionada à menor entrada de resíduos orgânicos no solo das áreas sob pastagens, devido ao pastejo dos animais. Em estudos mais recentes, Cardoso et al. (2010) também observaram em situação semelhante redução no estoque de COS em virtude da substituição de vegetação nativa de cerrado por pastagens cultivadas, sem que houvesse alteração nos atributos físicos do solo. Os autores também relacionaram essa redução às alterações no aporte de material orgânico.

Tabela 2. Atributos físicos, pH e estoques de carbono do solo sob cerrado nativo e pastagens de *Urochloa decumbens* com diferentes idades de implantação, em fazenda do Pantanal Sul-Mato-Grossense.

Área	Areia	Silte	Argila	Densidade aparente	pH (H ₂ O)	Estoque de carbono
	-----g.kg ⁻¹ -----			g.dm ⁻³		Mg ha ⁻¹

	0-10 cm					
Cerrado	955	37	8	1,36	5,7	9,05±0,87
Pastagem 6 anos	940	48	12	1,40	5,8	9,02±0,76
Pastagem 10 anos	942	52	6	1,40	6,0	9,41±0,92
Pastagem 20 anos	898	96	8	1,41	5,8	7,77±0,54
	10-20 cm					
Cerrado	941	51	8	1,46	5,2	6,82±0,47
Pastagem 6 anos	943	46	11	1,44	5,6	6,05±0,54
Pastagem 10 anos	932	56	12	1,45	6,0	5,36±0,64
Pastagem 20 anos	944	45	11	1,46	5,2	5,02±0,59

Fonte: Fernandes et al. (1999).

Os valores de estoques de COS medidos e simulados pelo CENTURY foram bastante próximos, com diferenças de ±6 % (Tabela 2). A análise estatística dos dados mostrou que o modelo simulou a situação no campo de modo satisfatório ($p>0,05$). Os valores medidos e simulados apresentaram a mesma tendência ou padrão ($R=0,94$), com uma associação estatisticamente significativa (teste F a 5%). Em termos percentuais, a diferença entre os mesmos foi pequena ($RMSE=4,87\%$), situando-se dentro do limite de confiança de 95% das medidas realizadas ($RMSE_{95\%}=19,81\%$). Isso significa que os valores simulados e medidos foram coincidentes estatisticamente, e a simulação pode ser considerada precisa. O modelo também não se mostrou tendencioso, uma vez que o erro total ($E=2,17$) esteve dentro do limite de confiança calculado ($E_{95\%}=19,77$) e a diferença média entre os mesmos foi positiva ($M=31,75$), não apresentando desvios estatisticamente significativos (teste t Student a 2,5%).

Tabela 3. Estoques de carbono orgânico total do solo (COS) na camada 0-20 cm observados sob cerrado nativo e cronossequência de pastagens cultivadas e simulados pelo modelo CENTURY, em fazenda do Pantanal Sul-Mato-Grossense.

Área	Valores observados	Valores simulados	Diferença
	-----Mg C ha ⁻¹ -----		%

Cerrado	15,80±1,47	14,86	-6
Pastagem 6 anos	15,07±1,37	14,52	-4
Pastagem 10 anos	14,80±1,24	14,27	-4
Pastagem 20 anos	12,79±1,31	13,54	+6

Na simulação feita (Figura 2) essa diminuição no estoques de COS foi contínua, chegando a um valor de $11,13 \text{ Mg.ha}^{-1}$ após 50 anos, o que representa uma perda ao redor de 30% do estoque inicial, após esse período. Reduções dessa magnitude foram obtidas por Cardoso et al. (2010) por meio de dados medidos em 2006, gerados em estudo conduzido em situação semelhante à apresentada.

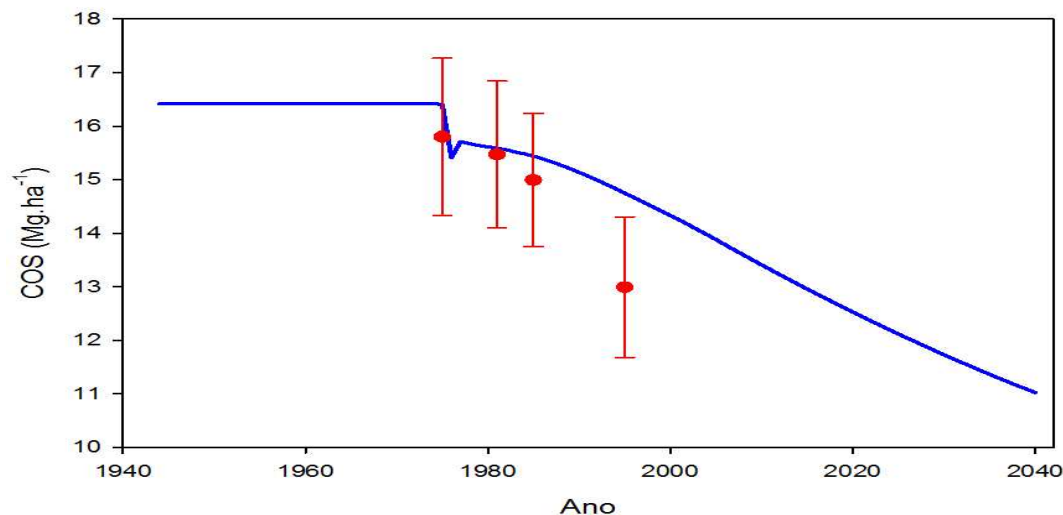


Figura 2. Simulação do carbono orgânico do solo (linha) e valores observados (pontos) em fazenda do Pantanal Sul-Mato-Grossense.

Vários estudos no Brasil têm demonstrado que pastagens melhoradas de *U. decumbens* (= *B. decumbens*) possuem potencial de aumentar os estoques de C no solo (D'ANDREA et al., 2004; MARCHÃO et al., 2009), com taxas de sequestro entre $0,2$ a $0,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Pastagens bem manejadas, com lotação animal adequada e uso periódico de adubação, podem incorporar grandes quantidades de C na sua biomassa superficial (FISHER; THOMAS, 2004), mantendo o solo coberto, com redução da temperatura e das taxas de decomposição da matéria orgânica. Entretanto a magnitude desses efeitos dependerá grandemente do regime local de precipitação, das práticas de manejo e do tipo de solo (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; CERRI et al., 2004; JANTALIA et al., 2007).

Um dos pressupostos do modelo é que a textura do solo influencia a dinâmica da MOS, uma vez que este atributo condiciona diferentes características do solo, tais como a distribuição do tamanho e continuidade dos poros, tamanho e estabilidade de agregados, disponibilidade de água, difusão de gases e o acesso microbiano à MOS (LEITE; MENDONÇA, 2003). Essas características modulam em maior ou menor graus os processos de decomposição e mineralização da MOS. Solos com conteúdos de argila mais elevados possuem maior área superficial de sua matriz mineral e potencial de estabilização da MOS, se houver sítios de ligação livres. Essa MOS quimicamente estabilizada pode ter um tempo de reciclagem de até 1.000 anos (PARTON et al., 1987). Por outro lado, a proteção física da MOS em solos com elevados conteúdos de areia é menor, permitindo maior acesso da microbiota do solo à mesma e propiciando, portanto, mineralização mais rápida (FELLER; BEARE, 1997). Entretanto, cabe lembrar que os parâmetros do modelo foram estabelecidos para as condições de clima e solos de regiões temperadas, o que segundo Leite e Mendonça (2003), consiste na principal limitação do modelo. O tipo de argila encontrado em solos tropicais é diferente daquele observado em solos de regiões temperadas e assim pode não haver a proteção física da MOS como descrita acima.

O conteúdo de argila do solo tem sido considerado como um dos mais importantes para as condições de Cerrado, sendo observado que solos com altos conteúdos de argila apresentam tendência em conservar ou até mesmo aumentar os estoques de carbono sob pastagens quando comparados aos solos sob vegetação nativa (ROSCOE et al., 2001). Em contrapartida, para solos com textura mais arenosa tem-se observado diminuição significativa e mais rápida nos estoques de C com o desmatamento e plantio de pastagens (SILVA et al., 1994; SALTON, 2005; DIECKOW et al., 2009). Nessas condições, em pouco tempo observa-se uma diminuição na capacidade de suporte da pastagem, evoluindo para uma condição de degradação.

As áreas de pastagem estudadas nesse trabalho, apesar de bem manejadas e não apresentarem sinais de degradação, possuem um potencial de acúmulo de biomassa baixo, em função das condições ambientais presentes, solo muito arenoso (95% de areia) e extremamente pobre mesmo sob vegetação nativa ($15,8 \text{ MgC ha}^{-1}$), bem como pela ausência de qualquer entrada de nutrientes por adubação. Nessa situação não existem as condições observadas por outros autores para que os estoques de MOS sejam no mínimo preservados.

O modelo CENTURY mostrou-se adequado para simular as situações estudadas. Embora represente um estudo de caso, os resultados da simulação sugerem que, mantidas as condições de contorno, a introdução de pastagens cultivadas em áreas florestadas no Pantanal pode levar a uma perda contínua de COS ao longo do tempo, com implicações na sustentabilidade desse tipo de uso do solo, visto que a PPL do sistema é dependente dos nutrientes estocados na matéria orgânica do solo e de sua reciclagem.

Salienta-se que simulações por modelos como o CENTURY dificilmente substituem estudos a campo. Porém, podem ser úteis tanto para definir estratégias mais adequadas de uso e manejo do solo de forma a garantir a sustentabilidade da atividade bem como prever os impactos sobre a dinâmica da MOS frente a cenários futuros quanto às mudanças climáticas e/ou outras alterações ambientais.

Conclusões

O modelo CENTURY foi eficiente na simulação da situação estudada. Mantidas as condições de contorno, a introdução de pastagens cultivadas em áreas florestadas no Pantanal, pode levar a uma perda contínua de COS ao longo do tempo.

Referências

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. 2nd edition. Oxon: CAB Internacional. 1993. 221 p.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono em solos sob florestas nativas e pastagens do bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 9, p.1028-1035, 2010.
- CERRI, C. C.; VOLKOF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 1-4, 1985.
- CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R. L.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 815-832, 2004.
- CHONÉ, T.; ANDREUX, F.; CORREA, J. C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Changes in organic matter in an Oxisol from the Central Amazonian forest during eight years as pasture determined by ^{13}C isotopic composition. In: BERTHELIN, J. (Ed). **Diversity of environmental biogeochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 1991. p. 397 - 405.
- D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 179-186, 2004.

- DIAZ-FILHO, M. B.; DAVIDISON, E. A.; CARVALHO, C. R. J. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon basin. In: McCLAIN, M. E.; VICTOIRA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.) **The biogeochemistry of Amazon basin**. New York: Oxford University Press, 2001. p. 84-105.
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.B.M.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.M.; MIELNICZUK, J.; HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Malden, v. 60, p. 240 - 249, 2009.
- FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazon. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v. 108, p. 14 -166, 1998.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A.; CRISPIM, S. M. A. Estoques De carbono e emissão de CO₂ e CH₄ de solos sob pastagens cultivadas e cerrado nativo no Pantanal, MS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008. Cd-rom.
- FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. Alterações na matéria orgânica do solo de um Podzol Hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1943-1951, 1999.
- FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature London**, London, v. 371, p. 236-238, 1994.
- FISHER, M. J.; THOMAS, R. J. Implications of land use change to introduced pastures on carbon stocks in the central lowlands of tropical South America. **Environment, Development and Sustainability**, Amsterdam, v. 6, p. 111-131, 2004.
- JANTALIA, C.P; RESCK, D.V.S; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region, **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 95, p. 97–109, 2007.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E. de S. Modelo Century de dinâmica de matéria orgânica do solo; Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 679-686, 2003.
- LILLIENFEIN, J.; WICKE, W. Nutrient input from the atmosphere into Brazilian savannah Oxisols under corn. **Soil Science**, Philadelphia, v.166, p. 391-399, 2003.
- LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of Tropical Soils as Sinks or Sources of Atmospheric Carbon. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 149, p. 27-41, 1993.
- MARCHÃO, L. R; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 103, p. 442–450, 2009.
- METHERELL, A. K.; HARDIN, L.A.; COLE, C. E.; PARTON, W.J. **Century soil organic matter: agroecosystem version 4.0**. Fort Collins: Colorado State University, 1993. (Gpsr technical report).
- MORAES, J. F. L. **Conteúdos de carbono e tipologia de horizontes nos solos da bacia amazônica**. 1991. 84 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.
- PARTON, W. J.; SANFORD, R. L.; SANCHEZ, P. A.; STEWART, J. W. B. Modelling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems** Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 59-85.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D. Analysis of factors controlling soil organic levels of grasslands in the Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 530-536, 1987.
- PARTON, W. J.; WOOMER, P. L.; MARTIN, A. Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: Woomer, P. L.; Swift, M. J. (Ed.) **The biological management of tropical soil fertility**. New York, Wiley-Sayce Publication, 1994. p.47-80

PAUSTIAN, K.; PARTON, W. J.; PERSSON, J. Modeling Soil Organic-Matter in Organic-Amended and Nitrogen-Fertilized Long-Term Plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 476-488, 1992.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, p. 185-202, 2001.

SALTON, J. C. 2005. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. pp 135-162.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley & Sons, 1976. 618p.

SANFORD, R. L.; PARTON, W. J.; OJIMA, D. S.; LODGE, D. J. Hurricane effects on soil organic-matter dynamics and forest production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto-Rico - Results of Simulation Modeling. **Biotropica**, Washington, v. 23, n. 4, p. 364-372, 1991.

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

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.

SMITH, P.; SMITH, J. U.; ADDISCOTT, T. Quantitative methods to evaluate and compare soil organic matter (SOM) models. In: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Ed.). Evaluation of soil organic matter models using existing, long-term datasets. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p.181-200.

SMITH, P.; SMITH, J. U.; POWLSON, D. S.; MCGILL, W. B.; ARAH, J. R. M.; CHERTOV, O. G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; FROLKING, S.; JENKINSON, D.S.; JENSEN, L.S.; KELLY, R.H.; KLEIN-GUNNEWIEK, H.; KOMAROV, A.S.; LI, C.; MOLINA, J. A. E. J.; MUELLER, T.; PARTON, W. J.; THORNLEY, J. H. M.; WHITMORE, A. P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p. 153-225, 1997.

TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. **Nutrientes nos solos de floresta primária e pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia central**. Belém: Embrapa-CPATU, 1989a. 31p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 98).

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, pp. 175-180, 1994.

WOOMER, P. L. The impact of cultivation on carbon fluxes in woody savannas of Southern Africa. **Water, Air and Soil Pollution**, Orebo, v. 70, p. 403-421, 1993.



Pantanal