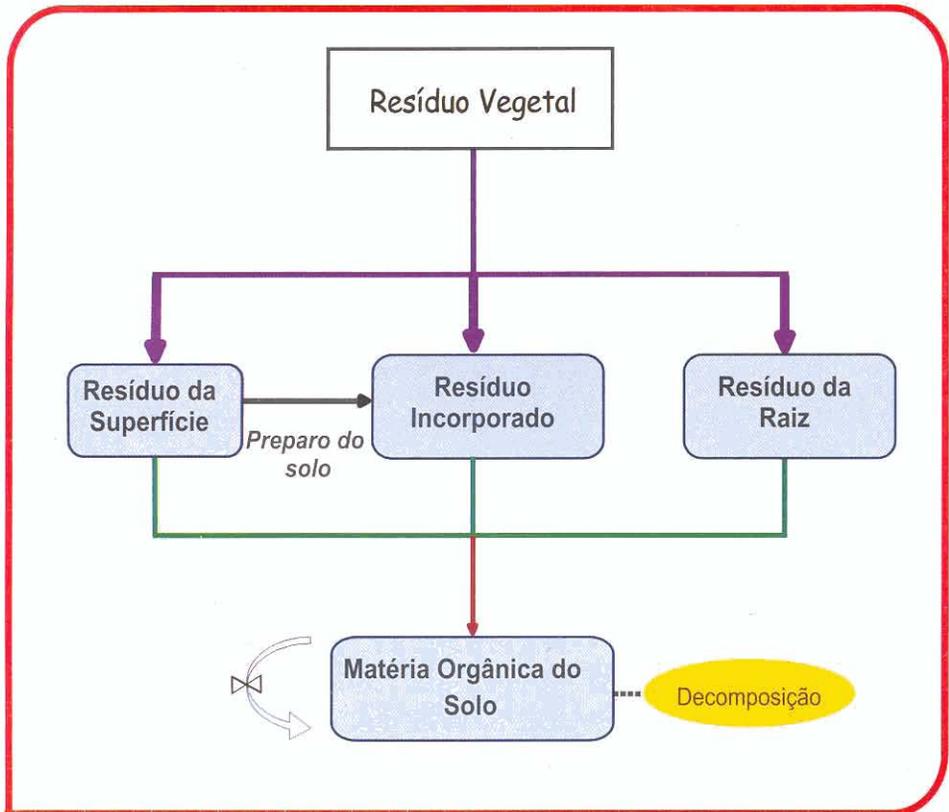


## CQESTR: Um Simulador Simples para Estimar Sequestro de Carbono em Solos Tropicais



ISSN 1413-1455

Julho, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*



# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 77***

## **CQESTR: Um Simulador Simples para Estimar Seqüestro de Carbono em Solos Tropicais**

*Luiz Fernando Carvalho Leite*

Embrapa Meio-Norte  
Teresina, PI  
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Meio-Norte**

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal 01

CEP 64006-220 Teresina, PI

Fone: (86)3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: [www.cpamn.embrapa.br](http://www.cpamn.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cpamn.embrapa.br](mailto:sac@cpamn.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Hoston Tomás Santos do Nascimento.*

Secretária executiva: *Ursula Maria Barros de Araújo*

Membros: *Paulo Sarmanho da Costa Lima, Humberto Umbelino de Sousa, Fábio Mendonça Diniz, Flávio Flavaro Blanco, Cristina Arzabe, Eugênio Celso Emérito Araújo, Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo e Carlos Antônio Ferreira de Sousa.*

Supervisão editorial: *Lígia Maria Rolim Bandeira*

Revisão de texto: *Francisco de Assis David Silva*

Normalização bibliográfica: *Orlane da Silva Maia*

Editoração eletrônica: *Erlândio Santos de Resende*

**1ª edição**

**1ª impressão (2008): 300 exemplares**

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Meio-Norte**

---

Leite, Luiz Fernando Carvalho.

CQESTR : um simulador simples para estimar sequestro de carbono em solos tropicais / Luiz Fernando Carvalho Leite. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2008.

16 p. ; 21 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455 ; 77).

1. Manejo do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Modelo de simulação. I. Título. II. Série.

---

CDD 631.51 (21. ed.)

© Embrapa 2008

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>Introdução</b> .....	7
<b>Material e Métodos</b> .....	8
<b>Resultados e Discussão</b> .....	9
<b>Conclusões</b> .....	15
<b>Referências</b> .....	15

# CQESTR: Um Simulador Simples para Estimar Seqüestro de Carbono em Solos Tropicais

---

*Luiz Fernando Carvalho Leite<sup>1</sup>*

## Resumo

CQESTR simula o efeito de práticas de manejo sobre o carbono orgânico do solo (COS). A versão beta do simulador tem sido calibrada e validada apenas para região temperada. Os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar o desempenho do modelo CQESTR para simular a dinâmica do COS em diferentes sistemas de preparo, em dois solos tropicais (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo) situados nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil; b) estimar o potencial de seqüestro de carbono de diferentes sistemas de preparo por meio do simulador CQESTR e de valores medidos. Na Região Sudeste (20,75 S 42,81 W), os sistemas de preparo foram plantio direto (PD), preparo reduzido com arados (PR1) e grades (PR2) e preparo convencional (PC); na Região Nordeste (7,55° S 45,23° W), plantio direto, preparo reduzido com escarificadores (PR) e preparo convencional. CQESTR subestimou o COS em ambos os locais, especialmente em PD, o que indica a necessidade de ajustes (ex.: inclusão do fator mineralogia do solo) para melhorar a eficiência das simulações do COS em solo tropical. Apesar disso, os valores medidos e simulados na camada de 0-20 foram bem-correlacionados (Sudeste,  $R^2 = 0,94$ ,  $p < 0,01$ ; Nordeste,  $R^2 = 0,88$ ,  $p < 0,05$ ). O modelo estimou emissões de carbono, variando de 0,36 (PD) a 1,05 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (PC) no Sudeste, e de 0,30 (PD) a 0,82 (PC) Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no Nordeste. CQESTR apresenta bom desempenho para estimar dinâmica de COS em dois solos tropicais do Brasil.

Termos para indexação: modelo de simulação, matéria orgânica do Solo, sistema de manejo.

<sup>1</sup>Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220 Teresina, PI Email: luizf@cpamn.embrapa.br

## Introdução

A matéria orgânica do solo (MOS) é importante na disponibilidade de nutrientes, na estabilidade estrutural do solo e no fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera. Ela representa o principal compartimento de carbono na biosfera, estimado entre  $1.400 \times 10^{15}$  g e  $2.200 \times 10^{15}$  g, equivalente a cerca de duas a três vezes a quantidade no  $\text{CO}_2$  atmosférico (LAL, 2004).

Nesse sentido, a predição dos efeitos do clima, composição atmosférica e mudança do uso da terra sobre a dinâmica da MOS é essencial na formulação de políticas agrícolas, ambientais e socioeconômicas. Os modelos de simulação otimizam o entendimento da dinâmica da MOS e são ferramentas essenciais para estimar mudanças climáticas, testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os efeitos negativos dessas mudanças.

Diversos modelos de simulação foram desenvolvidos nos últimos anos, como, Century (PARTON et al., 1987), RothC (COLEMAN; JENKINSON, 1996) e EPIC (IZAURRALDE et al., 2006; WILLIAMS; RENARD, 1985). Esses modelos têm sido calibrados e validados com sucesso em uma diversidade de ecossistemas e tipos de solo, sendo a grande maioria em condições de clima temperado. No entanto, são considerados complexos, apresentam uma estrutura multicompartimental e requerem muitas variáveis de entrada, o que inviabiliza a utilização em diversos ambientes.

CQESTR é um modelo simples que simula o efeito de práticas de manejo sobre os estoques de carbono (RICKMAN et al., 2001). As principais variáveis de entrada são o teor inicial de matéria orgânica do solo, a densidade do solo, a classe textural, o teor de nitrogênio dos resíduos culturais e as temperaturas e precipitações médias mensais. Apesar de sua simplicidade, são escassos os estudos com CQESTR em solos temperados e inexistentes em solos tropicais. Nesse sentido, os objetivos do trabalho foram: a) avaliar o desempenho do modelo CQESTR para simular a dinâmica da MOS em diferentes sistemas de preparo, em dois solos tropicais (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo) situados nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil; b) estimar o potencial de seqüestro de carbono de diferentes sistemas de preparo por meio do simulador CQESTR e de valores medidos.

# CQESTR: A Simple model to Estimate Carbon Sequestration in Tropical Soils

---

## Abstract

*CQESTR simulates the effect of management practices on soil organic carbon (SOC) stocks. The beta version of the model had been calibrated and validated for temperate regions. Our objectives were: a) to evaluate the CQESTR model performance for simulating carbon dynamics as affected by tillage practices in two tropical soils (Ultisol and Oxisol) in southeastern and northeastern Brazil and; b) To estimate carbon sequestration potential under different tillage system using CQESTR model and measured values. In the southeast (20.75 S 42.81 W), tillage systems consisted of no tillage (NT); reduced tillage (RT) (one disc plough and one harrow leveling [RT1] or one heavy disc harrow and one harrow leveling [RT2]); and conventional tillage (CT) (two heavy disc harrows followed by one disc plough and two harrow levelings). In the northeast (7.55 S 45.23 W), tillage systems consisted of NT, RT (one chisel plow and one harrow leveling), and CT (one disk plow, two heavy disk harrowings, and two harrow levelings). CQESTR underestimated SOC at both sites, especially under NT systems, indicating that adjustments (e.g., the inclusion of clay mineralogy factor) are necessary for more accurate simulation of SOC in the tropics. In spite of this, measured and simulated values of SOC in the 0–20 cm depth were well correlated (southeast,  $R^2 = 0.94$ ,  $p < 0.01$ ; northeast,  $R^2 = 0.88$ ,  $p < 0.05$ ). The model estimated carbon emissions varying from 0.36 (NT) to 1.05 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (CT) in the southeast and from 0.30 (NT) to 0.82 (CT) Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the northeast. CQESTR show acceptable performance to predict SOC dynamics in two tropical soils of Brazil*

*Index terms: Simulation model; Soil organic matter; management systems*

## Material e Métodos

O simulador CQESTR foi avaliado com dados provenientes de dois experimentos. O primeiro, estabelecido em 1985, na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, no Município de Coimbra, MG (20,75° S 42,81° W), e o segundo, conduzido na Fazenda Boa Esperança, desde 1994, no Município de Baixa Grande do Ribeiro, PI (BGR) (7,55° S 45,23° W). Os solos em Coimbra e BGR são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo (460 g argila kg<sup>-1</sup>) e Latossolo Vermelho-Amarelo (560 g argila kg<sup>-1</sup>) respectivamente. Em Coimbra, a área esteve sob floresta atlântica até 1930. Depois disso, o solo foi cultivado por 54 anos com as culturas do milho e feijão em sistema de preparo convencional. Em 1985, o experimento foi instalado com os seguintes sistemas de preparo: plantio direto (PD), preparo reduzido com arados (PR1), preparo reduzido com grades (PR2) e preparo convencional (PC). Em BGR, a área foi originalmente coberta com vegetação de Cerrado até 1994 e, posteriormente, cultivada por oito anos com soja em sistema de preparo convencional. Um experimento foi iniciado em 2002 com três sistemas de preparo: plantio direto, preparo reduzido com escarificadores (PR) e preparo convencional com grade niveladora e grade pesada (PC). Em ambos os experimentos, amostras de solo foram coletadas nos anos de 1985, 1988, 1990, 1995 e 2000 (Coimbra) e 2003, 2005 e 2006 (BGR) para determinação do teor de COS.

CQESTR foi desenvolvido e avaliado com uma base de dados originária de experimentos de longa duração em Oregon, Estados Unidos, envolvendo sistemas de preparo e de cultura e fertilização. Para realizar avaliações mais criteriosas acerca das estimativas do modelo, os valores das variáveis determinados a partir desses estudos prévios foram inalterados. Essas variáveis gerais ou não específicas dos locais estudados incluem a taxa de decomposição máxima da matéria orgânica, as constantes que dividem os fluxos dos produtos de decomposição e as variáveis que controlam os efeitos da textura do solo, da temperatura e da umidade na decomposição da matéria orgânica do solo. As principais variáveis de entrada utilizadas no modelo foram relativas ao solo (teor inicial de matéria orgânica, densidade do solo e classe textural), às culturas utilizadas (densidade populacional e

produtividade) e ao clima (temperaturas e precipitação médias mensais). Os estoques de COS medidos por meio de método analítico e simulados pelo modelo foram comparados. Para otimizar as simulações, efetuaram-se procedidas modificações nos parâmetros dos modelos ajustando-os para as condições tropicais. A validação foi realizada comparando valores medidos, em diferentes períodos, com os valores simulados. Realizaram-se estimativas da dinâmica da matéria orgânica do solo em longo prazo e do potencial de seqüestro de carbono em diversos sistemas.

## Resultados e Discussão

CQESTR subestimou os estoques de carbono orgânico total (COT), embora as diferenças entre valores simulados e medidos tenham sido de pequena magnitude (Fig. 1). Na Região Sudeste, no Argissolo Vermelho-Amarelo, as maiores diferenças foram observadas no sistema plantio direto (PD) e variaram de 3,7 % a 10,0 %. Para o PC, PR1 e PR2 as diferenças foram de 1,8 % a 12 %, 2,4 % a 8,9 % e 0,06 % a 9,0 % respectivamente.

Na Região Nordeste, no Latossolo Vermelho-Amarelo, houve menor subestimação e as diferenças entre simulados e medidos foram de 4,0 % a 4,6 % (plantio direto) 1,25 % a 2,19 % (preparo convencional) e 1,61 % a 2,23 % (preparo reduzido). Essa subestimação dos estoques de COT tem sido observada em outros modelos e está diretamente relacionada à ausência de importantes mecanismos de estabilização de C em solos tropicais. Apesar disso, a correlação foi boa (Argissolo,  $R^2 = 0,94$ ; Latossolo,  $R^2 = 0,88$ , ) (Fig. 2) e os resultados com o modelo podem ser considerados extremamente positivos. Com o modelo calibrado, foram simulados os efeitos dos sistemas de manejo sobre a dinâmica do carbono orgânico total. CQESTR estimou decréscimo nos estoques de COT após a conversão da floresta nativa para agrossistemas, e essa diminuição manteve-se mesmo com a adoção posterior do sistema plantio direto (Fig. 3).

Para ambas as regiões, o modelo estimou emissão de C para atmosfera. Na Região Sudeste, as emissões foram de 0,36 e 1,05 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em plantio direto e preparo convencional respectivamente. A estimativa por meio

de valores medidos também indicou emissão de C para todos os sistemas, embora em menor magnitude (Tabela 1). Essas estimativas diferem daquelas reportadas na maioria dos trabalhos em que há seqüestro de C em plantio direto. A diferença pode ser atribuída ao método utilizado para realizar as estimativas. Neste estudo, foram utilizados, como referência, os estoques de C no início do experimento, enquanto em outros trabalhos os valores referenciais foram aqueles observados no preparo convencional. Se assim fosse procedido, haveria seqüestro de C, por parte do sistema plantio direto, na ordem de 0,47 (simulado) e 0,48 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (medido), o que estaria de acordo com os valores observados por outros autores para o mesmo tipo de solo (0,52 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (LOVATO et al., 2004). Na Região Nordeste, também foram observadas emissões de C. Os valores oscilaram de 0,30 (PD) a 0,82 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (PC), estimados pelo CQESTR e de 0,14 (NT) a 0,84 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (CT), calculados por meio dos valores medidos (Tabela 1). No entanto, considerando-se os estoques de COT no preparo convencional como referência, há no sistema plantio direto uma taxa de seqüestro de C de 0,18 e 0,38 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para valores medidos e simulados respectivamente.

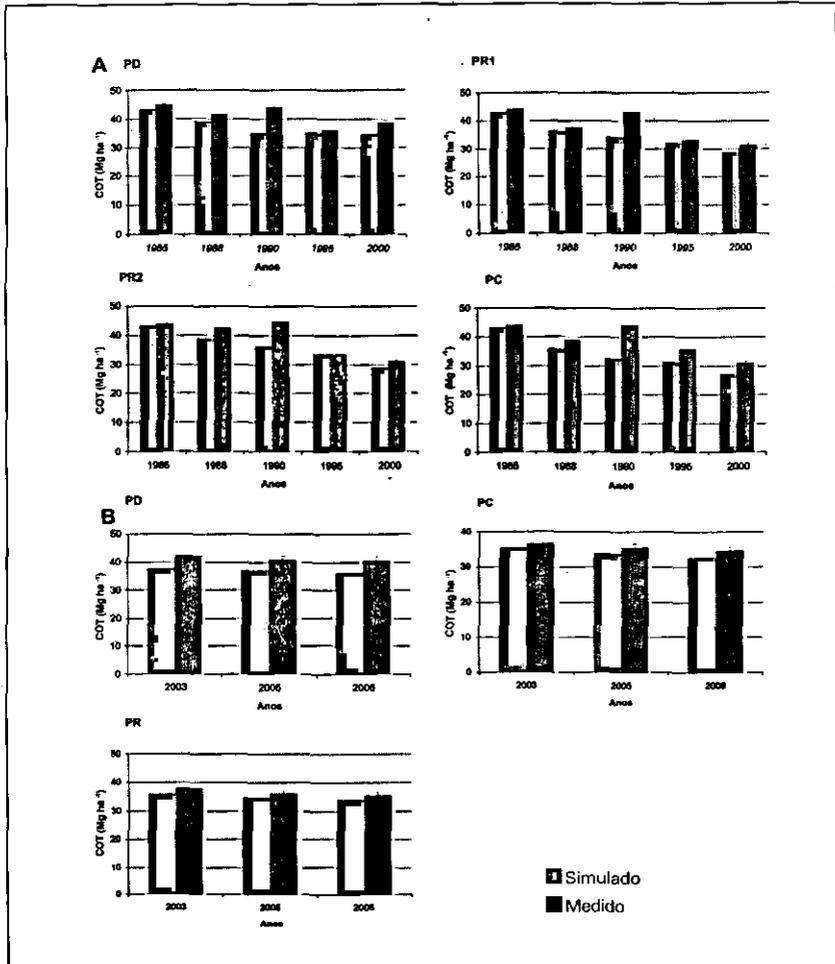


Fig. 1. Estoques de carbono orgânico total (COT) (0-20 cm) medidos e simulados pelo modelo CQESTR em um Argissolo Vermelho-Amarelo (Coimbra-MG) (A) sob plantio direto (PD), preparo reduzido com arados (PR1), preparo reduzido com grades (PR2) e preparo convencional (PC) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Baixa Grande do Ribeiro-PI) (B) sob plantio direto (PD), preparo reduzido com grades (PR) e preparo convencional (PC).

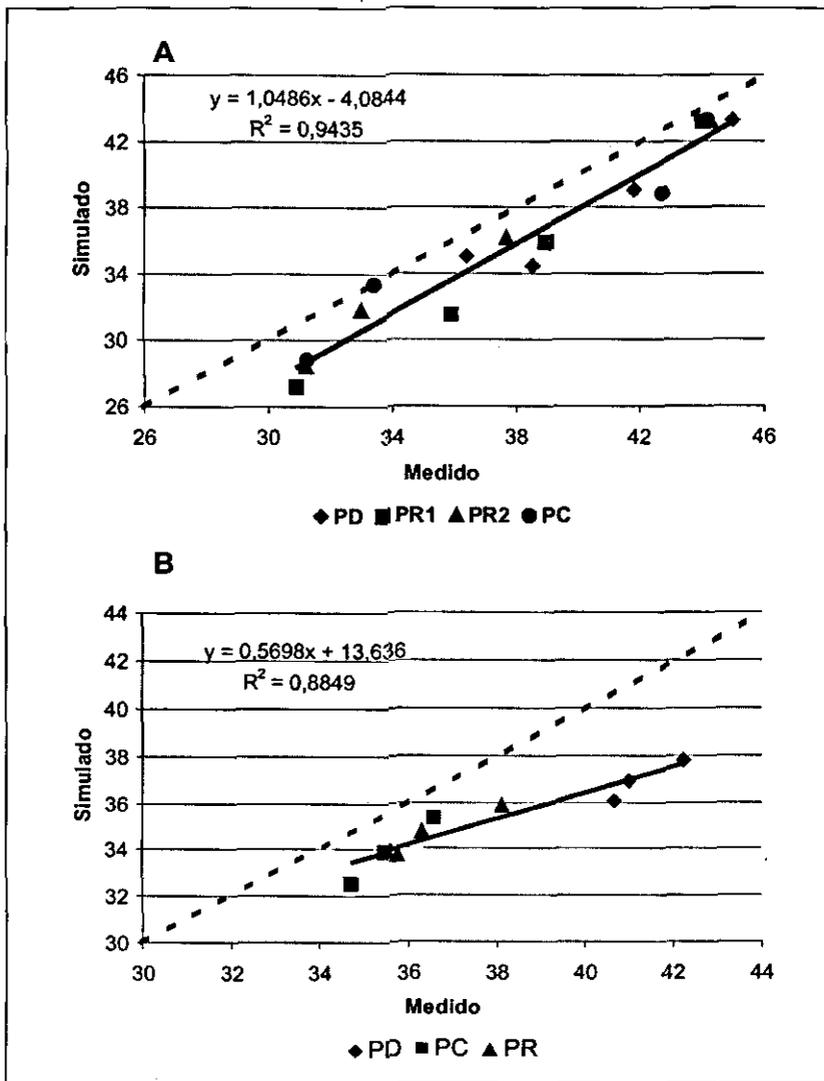


Fig. 2. Regressão linear dos estoques medidos e simulados pelo modelo CQESTR (0-20 cm) em um Argissolo Vermelho-Amarelo (Coimbra, MG) (A) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Baixa Grande do Ribeiro, PI) (B). PD: plantio direto; PR1: preparo reduzido com arados; PR2: preparo reduzido com grades; PC: preparo convencional; PR: preparo reduzido com grades.

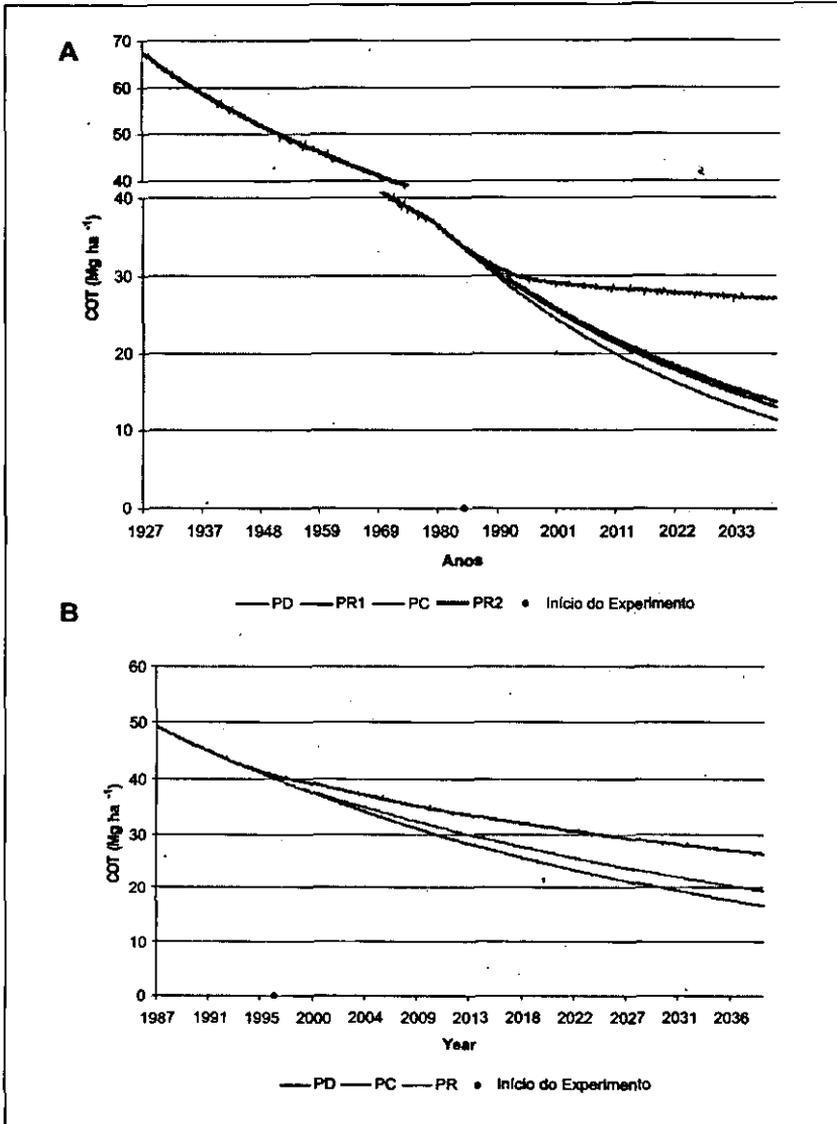
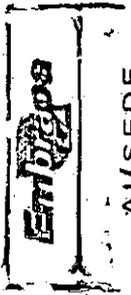


Fig. 3. Dinâmica do carbono orgânico total (COT) (0-20 cm) simulado pelo modelo CQESTR em um Argissolo Vermelho-Amarelo (Coimbra, MG) (A), em plantio direto (PD), preparo reduzido com arados (PR1), preparo reduzido com grades (PR2) e preparo convencional (PC), e em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Baixa Grande do Ribeiro, PI) (B), em plantio direto (PD), preparo reduzido com grades (PR) e preparo convencional (PC).



**Tabela 1.** Emissão de carbono estimado pelo modelo CQESTR e por meio dos valores medidos em um Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) em Coimbra, MG e em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) em Baixa Grande do Ribeiro, PI, em diferentes sistemas de preparo.

Sistema de preparo	Estoque de C			Taxa <sup>(1)</sup>	Emissão de C
	Inicial	Final	Varição $\Delta$		
	Mg ha <sup>-1</sup>			Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
<b>AVA (Coimbra)</b>					
CQESTR					
PD	43,4	34,79	-8,60	-0,53	-0,36
PR1	43,4	28,45	-14,94	-0,93	-0,96
PC	43,4	27,18	-16,21	-1,01	-1,05
PR2	43,4	28,80	-14,59	-0,91	-0,94
Medidos					
PD	44,0	38,54	-5,46	-0,34	-0,17
PR1	44,0	31,23	-12,77	-0,79	-0,82
PC	44,0	30,90	-13,10	-0,82	-0,86
PR2	44,0	31,24	-12,76	-0,79	-0,82
<b>LVA (BGR)</b>					
CQESTR					
PD	42,7	36,07	-6,63	-0,51	-0,30
PC	42,7	32,53	-10,17	-0,78	-0,82
PR	42,7	33,75	-8,95	-0,69	-0,72
Medidos					
PD	45,1	40,68	-4,42	-0,34	-0,14
PC	45,1	34,72	-10,38	-0,80	-0,84
PR	45,1	35,76	-9,34	-0,72	-0,75

PD: plantio direto; PR1: preparo reduzido com arados; PC: preparo convencional; PR2: preparo reduzido com grades; PR: preparo reduzido com grades. <sup>(1)</sup> Contribuição de 6 Mg ha<sup>-1</sup> proveniente da cultura de cobertura (0,17 e 0,20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para AVA e LVA respectivamente, considerando-se 45 % C) (SALTON et al., 2005) foi assumida para o sistema plantio direto. Emissões de C (0,045 e 0,031 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para preparo convencional e preparo reduzido respectivamente) foram incluídas para representarem o uso adicional de combustível (DIECKOW et al., 2004).

## Conclusões

1. CQESTR apresentou boa correlação com os valores medidos e pode ser usado para estimar dinâmica do carbono em solos do Brasil. Entretanto, mais estudos necessários para melhorar as estimativas do modelo.
2. A mudança da floresta nativa para agricultura tem reduzido os estoques de carbono, independentemente das práticas de preparo. O aporte de resíduos culturais para o solo ( $> 8 \text{ t ha}^{-1}$ ) é o fator principal para aumentar os estoques de matéria orgânica e seqüestrar carbono.

## Referências

- COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. ROTHC-26.3: a model for the turnover of carbon in soil: model description and users guide. 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. v. 38, p. 237-246. (NATO ASI, Series I).
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, 12).
- IZAURRALDE, R. C.; WILLIAMS, J. R.; MCGILL, W. B.; ROSENBERG, N. J.; JAKAS, M. C. Q. Simulating soil C dynamics with EPIC: model description and testing against long-term data. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 192, n. 3/4, p. 362-384, 2006.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1/2, p. 1-22, 2004.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, jan./fev. 2004.
- 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 American**

Journal, Madison, v. 51, n. 5, p. 1173-1179, Sept./Oct. 1987.

RICKMAN, R. W.; DOUGLAS, C. L.; ALBRECHT, S. L.; BUNDY, L. G.; BERG, J. L. CQESTR: a model to estimate carbon sequestration in agricultural soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 56, n. 3, p. 237-242, 2001.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M. CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

WILLIAM, J. R.; RENARD, K. G. Assessment of soil erosion and crop productivity with process models (EPIC). In: FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 68-102.



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

