

# SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO EM UM ARGISSOLO DO RIO GRANDE DO SUL USANDO MODELO CENTURY<sup>(1)</sup>

Elisandra Solange Oliveira Bortolon<sup>(2)</sup>, João Mielniczuk<sup>(3)</sup>, Carlos Gustavo Tornquist<sup>(4)</sup>, Fabíola Lopes<sup>(5)</sup> & Flavia Fontana Fernandes<sup>(6)</sup>

## RESUMO

Diversas pesquisas têm mostrado desempenho satisfatório do modelo Century no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) nas condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, porém os estoques de N do solo são normalmente superestimados. O objetivo deste estudo foi ajustar parâmetros do modelo Century em relação ao ciclo do N, para torná-lo uma ferramenta útil no estudo da dinâmica do N em nosso meio. As simulações foram realizadas com dados experimentais de um estudo de longa duração instalado em 1985 em um Argissolo Vermelho distrófico da EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul (RS). A inicialização do modelo consistiu na entrada de dados de solo, clima e ajuste de variáveis locais relacionadas à adição de N por fixação não simbiótica e parâmetros relativos a perdas de N por volatilização e relação C/N de resíduos de culturas que entram nos compartimentos lento e passivo da MOS. O modelo foi executado por um período de 6.000 anos nas condições do bioma de campos nativos do Sul do Brasil (bioma *mesic/subhumid grassland*), para obtenção dos estoques estáveis do C orgânico total (COT) e N total (NT) do solo e dos compartimentos de C e N do solo. Com o modelo assim ajustado, simularam-se oito tratamentos (dois tipos de preparo de solo, dois sistemas de cultura e duas doses de N mineral em fatorial 2 x 2 x 2) selecionados do experimento, conforme o histórico do estudo, alterando-se o parâmetro de cultivo CLTEFF(2) (multiplicador para decomposição do compartimento lento), o qual dependeu do potencial de adição de C pelas culturas e do grau de revolvimento do solo. Adicionalmente, foi acrescentado às sequências

---

<sup>(1)</sup> Parte da pesquisa realizada para a Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Recebido para publicação em julho de 2008 e aprovado em julho de 2009.

<sup>(2)</sup> Pós-Doutoranda do PPG-Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: elisandra.oliveira@ufrgs.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos da UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: joaomiel@terra.com.br

<sup>(4)</sup> Pós-Doutorando do PPG-Ciência do Solo, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: carlostornquist@terra.com.br

<sup>(5)</sup> Doutoranda do PPG-Ciência do Solo, UFRGS. Bolsista CAPES. E-mail: fabilopes@gmail.com

<sup>(6)</sup> Professora Adjunta do Departamento de Solos da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. CEP 96010-900 Pelotas (RS). E-mail: flaviaff@ufpel.tche.br

de eventos de manejo de solo sob preparo convencional um “efeito adicional de cultivo”, persistindo por dois meses após cada evento de revolvimento do solo. Esse prolongamento do efeito do revolvimento do solo permitiu melhor ajuste da dinâmica do C no solo sob sistema de preparo convencional, pois refletiu a maior decomposição da MOS observada nas condições locais. De maneira geral, a aplicação do modelo Century com a parametrização proposta demonstrou bom ajuste das estimativas de COT e NT em relação aos valores observados em 1998, evidenciando que o modelo C tem potencial para ser utilizado no planejamento e na definição de estratégias de manejo de solo.

**Termos de indexação:** matéria orgânica, solos subtropicais, sistemas de manejo de solo.

**SUMMARY:** *SIMULATED SOIL CARBON AND NITROGEN DYNAMICS IN AN ACRISOL OF RIO GRANDE DO SUL STATE USING THE CENTURY MODEL*

*Several studies have shown the satisfactory performance of the Century Model to study soil organic matter (SOM) for the climatic and edaphic conditions of Rio Grande do Sul. However, soil N stocks were usually overestimated in these simulations. The objective of this study was to parameterize the N cycle submodel of Century for a successful use in N dynamic studies in Southern Brazil. For the simulations, data from a long-term study site established in an Acrisol (Argissolo Vermelho distrófico) at EEA-UFRGS (Eldorado Agricultural Experiment Station - UFRGS) in 1985 were used. The initial parameterization included soil and climate properties, non-symbiotic N fixation inputs, N losses by volatilization and C/N ratios of plant residues that enter the slow and passive N pools of SOM. Century was run for a simulation period of 6,000 years to determine the steady state of soil total carbon and nitrogen stocks and the C and N soil compartments for conditions of Southern Brazilian grasslands (mesic biome/subhumid grassland). Subsequently, eight selected treatments (conventional and no-tillage managements, two crop systems and two N levels in factorial combination) were simulated according to historical soil management data, with appropriate changes in the cultivation parameter CLTEFF(2) (slow pool decomposition multiplier), which was affected by crop C inputs and tilling intensity. Additionally, an “enhanced cultivation effect” was included for two months after each plowing event in the conventional soil management schedules. This extension of the tilling effect resulted in a better adjustment of the soil C dynamics in the case of the conventional tillage system, reflecting the higher soil organic matter decomposition under the local conditions. In general, the estimates of the model with the above-mentioned parameterization agreed well with the field data measured in 1998. This indicates the Century model as a feasible tool for the planning and establishment of soil management strategies.*

*Index terms:* organic matter, soils of subtropical regions, soil management systems.

## INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) faz parte de um equilíbrio dos ciclos do C e do N e o seu teor encontra-se estável em solo sob vegetação natural. No entanto, pelo fato de a MOS ser um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo do solo (Silva et al., 2000), com a incorporação dessas áreas na agricultura, ocorre redução desse conteúdo, especialmente quando se utilizam métodos de preparo que revolvem intensamente o solo e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais (Lovato, 2001; Vezzani,

2001). Nessa situação, estabelece-se um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, com perda da produtividade das culturas e da qualidade do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Vezzani, 2001).

A manutenção ou recuperação dos teores de MOS pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com pequeno ou nenhum revolvimento e de sistemas de culturas com alta adição de resíduos vegetais, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (Bayer & Mielniczuk, 1999).

O N é o nutriente mais alterado no processo de degradação do solo (Aita, 1997), porque a matéria orgânica, sua principal fonte, está concentrada na superfície do solo e é perdida seletivamente por erosão. Essa diminuição no estoque de N orgânico, somada às inúmeras transformações de natureza bioquímica a que o N está sujeito (mineralização, imobilização, desnitrificação, entre outros) e à grande quantidade exigida pela maioria das culturas, tornam-no o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas, razão pela qual o seu manejo é bastante complexo. Assim, o amplo entendimento da dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera é fundamental para a racionalização do uso de fertilizantes nitrogenados minerais ou orgânicos, tanto do ponto de vista da produtividade das culturas como da qualidade ambiental.

Experimentos de longa duração são valiosos para o estudo da dinâmica da MOS, mas são relativamente recentes se comparados ao tempo de uso agrícola do solo. Assim, as lentas alterações nos estoques de MOS e a complexidade de processos químicos e físicos que envolvem as dinâmicas do C e do N, associados aos curtos períodos experimentais disponíveis, dificultam a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo. Nesse sentido, o ajuste de modelos auxilia na interpretação e extrapolação dos resultados experimentais, podendo se constituir numa ferramenta importante para o planejamento e a definição de sistemas de manejo mais adequados em longo prazo e, portanto, sustentáveis (Bayer et al., 2000; Fernandes, 2002).

Os modelos de simulação da dinâmica da MOS, em geral, são desenvolvidos com base em dados obtidos em ecossistemas de clima temperado, onde estes estão disponíveis atualmente em grande número (Parton et al., 1994; Smith et al., 1997b), porém com uso limitado em estudos da MOS em solos tropicais e subtropicais, havendo necessidade de mais pesquisas a fim de determinar a magnitude e os coeficientes de conversão entre os compartimentos da MOS, para melhorar as estimativas nesses solos (Parfitt et al., 1997). Nos trópicos, a temperatura do solo, o regime de umidade do solo, a textura e a mineralogia de argila são os principais determinantes da quantidade de MOS.

De acordo com Parton et al. (1987), o Century é um modelo de simulação que pode estimar adequadamente a dinâmica da MOS nessas condições, permitindo a modelagem da dinâmica do C, N, P, S, água, crescimento e produção de plantas nos mais diversos tipos de solo, clima e biomas do mundo (Parton et al., 1987, 1994; Paustian et al., 1992; Metherell et al., 1994; Kelly et al., 1997; Smith et al., 1997a,b; Silveira et al., 2000; Leite et al., 2004a).

De modo geral, os estudos com o Century tratam de sistemas naturais, pastagens ou de sistemas cultivados com métodos convencionais de preparo, em

que o revolvimento do solo é comumente utilizado. Entretanto, quando aplicado em solos onde ocorreu mudança dos sistemas convencionais para sistemas conservacionistas de preparo, o Century pode não estimar adequadamente a dinâmica da MOS (Smith et al., 1997b). Isso porque a recuperação de solos degradados causa alterações no seu estado de agregação, aumentando a proteção física da MOS nos agregados recentemente formados, podendo haver necessidade de ajustes em coeficientes do modelo para que possam ser considerados os efeitos dessa proteção. Além disso, estudos realizados no Brasil utilizando o Century em regiões tropicais (Silva & Pasqual, 1999) e subtropicais (Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Fernandes, 2002; Oliveira, 2005; Lopes, 2006; Tornquist, 2007; Bortolon, 2008; Lopes et al., 2008) indicaram que, para que esse modelo se torne mais eficiente em estimar a dinâmica da MOS sob essas condições climáticas e diferentes sistemas de manejo de solos adotados, há necessidade de ajustes em alguns de seus parâmetros, especialmente naqueles relacionados às taxas de conversão entre os compartimentos da MOS.

Para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, o modelo Century apresentou bom desempenho na simulação da dinâmica do C orgânico após ajustes na taxa de decomposição do compartimento lento, em função do tipo de preparo de solo, sistema de cultura e N mineral adicionado (Vezzani, 2001; Fernandes, 2002). No entanto, mesmo com esses ajustes, Fernandes (2002) observou que o modelo não simula adequadamente a dinâmica do N no solo, quando comparado aos resultados obtidos por Lovato (2001). Nesse estudo, o Century superestimou em mais de 60 % o estoque de N no solo sob vegetação nativa, o que se refletiu nas estimativas em solo cultivado com culturas anuais em diferentes sistemas de manejo, indicando que o modelo está superestimando as adições de N ao sistema e, ou, subestimando as perdas desse nutriente.

Leite et al. (2004b), estudando a dinâmica da MOS em um Argissolo Vermelho-Amarelo do Estado de Minas Gerais, submetido à adubação mineral e orgânica, obtiveram diferenças menores entre os estoques de N orgânico total (NT) medidos e simulados pelo modelo. Nesse estudo, com a adição de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ao solo, o NT estimado pelo modelo superou apenas em 6 % o NT medido pelos autores. Por outro lado, nos tratamentos com adubação orgânica, os estoques simulados pelo modelo Century foram subestimados em torno de 10 % em relação aos estoques medidos.

O presente estudo teve como objetivo ajustar o modelo Century 4.0 para que se constitua numa ferramenta útil no estudo da dinâmica do N em solos subtropicais, tendo-se como base um experimento de manejo de solo conduzido desde 1985 em um Argissolo Vermelho distrófico do Sul do Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição resumida do experimento

O experimento utilizado nesta pesquisa localiza-se na Estação Experimental da UFRGS, no município de Eldorado do Sul, em um Argissolo Vermelho distrófico (PVD), pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo, representativo da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Este solo apresenta textura franco-argiloarenosa. A área, inicialmente vegetada por campo nativo, foi ocupada por lavoura sob preparo convencional com cultivo de colza e girassol entre os anos de 1970 e 1984, o que resultou em solo degradado fisicamente. O ensaio foi iniciado em 1985 e segue um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Envolve um arranjo fatorial de três sistemas de preparo de solo, preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD), com três sequências culturais, aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) (AM), ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho (VM) e aveia + ervilhaca/milho + caupi (*Vigna unguiculata*) (AVMC), e duas doses de N aplicadas na cultura do milho (0 e 138 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), em parcelas subdivididas.

### Tratamentos utilizados nas simulações

A partir do experimento anteriormente descrito, foram utilizados os tratamentos com preparo convencional do solo (PC) e plantio direto (PD), associados às sequências culturais aveia/milho (AM) e aveia + ervilhaca/milho + caupi (AVMC), e duas doses de N aplicadas na cultura do milho (0 e 138 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), em arranjo fatorial 2 x 2 x 2. Também foi acrescentado o campo nativo (CN), para representar o manejo natural do solo (até 1969), e o cultivo de colza no inverno e girassol no verão (CG), realizado durante 14 anos (1970 a 1984) sob preparo convencional.

### Inicialização do modelo

Na presente pesquisa, a inicialização do modelo Century 4.0 foi realizada com dados locais de clima e solo, apresentados por Fernandes (2002), referentes à área experimental, sendo a precipitação pluvial média anual de 1.322 mm, temperatura mínima média anual de 14,5 °C, temperatura máxima média anual de 24,5 °C, composição granulométrica de 517, 254 e 229 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, e densidade do solo de 1,55 g cm<sup>-3</sup>. Esses dados são as variáveis de entrada específicas do local juntamente com outras informações necessárias para as simulações, como adições de N por deposição atmosférica e fixação não simbiótica e teores iniciais de C, N, P e S nos compartimentos do solo.

### Calibração do modelo

Nesta etapa de ajustes, foram utilizados como referência os dados apresentados por Lovato (2001), em que são conhecidas as adições de C e N pelos

sistemas de culturas e adubações nitrogenadas, além dos estoques desses elementos no solo ao longo de 13 anos, considerando-se a profundidade de 0–20 cm e tendo-se como base a amostragem realizada em setembro de 1998.

Após a inserção dos dados de entrada, o modelo Century foi executado por um período de 6.000 anos nas condições de campo nativo (execução de equilíbrio), buscando-se a estabilização de todas as suas variáveis de saída, verificando-se ao final desse período se os estoques de COT e NT estimados pelo modelo correspondiam aos estoques reais da camada de 0 a 20 cm do solo em estudo. Contudo, pelo fato de as adições de C pelo campo nativo serem desconhecidas, estas tiveram seus valores ajustados para que o COT estimado fosse o mais próximo possível do valor observado no solo sob campo nativo, partindo-se do pressuposto de que na prática o COT tenha se mantido estável na condição natural. Isso foi possível pelo ajuste do potencial máximo mensal de produção de C pela parte aérea da cultura em questão (PRDX) no bioma *mesic/subhumid grassland*, associado a ajustes nos parâmetros fixos do modelo relacionados às relações C/N do material que entra nos compartimentos lento (VARAT2(1,1)) e passivo (VARAT3(1,1)), à perda de N por volatilização (VLOSSG) e, ainda, à variável EPNFS(2) do arquivo local, que se refere à entrada de N pela fixação não simbiótica (Quadro 1). A escolha desses parâmetros foi feita a partir de sugestões da equipe que desenvolveu o modelo Century na Universidade de Colorado (Colorado State University), nos Estados Unidos.

Para ajustar o modelo nas condições de solos cultivados, optou-se pela utilização do “efeito adicional de cultivo” por dois meses seguidos após o revolvimento do solo nos sistemas de manejo de solo que envolveram preparo convencional, prolongando-se o efeito do preparo sobre as taxas de decomposição da MOS (Leite et al., 2004a). Posteriormente, ajustou-se o efeito do tipo de preparo de solo sobre a decomposição do compartimento lento por meio da alteração do parâmetro CLTEFF(2), que funciona como um multiplicador para aumentar a decomposição do referido compartimento no mês de cultivo, partindo-se de estudos realizados por Fernandes (2002). Na versão original do Century, esse parâmetro assume valores diferentes, conforme o sistema de preparo do solo. Na presente pesquisa, foram propostas alterações nos valores do CLTEFF(2) que, além do sistema de preparo, levassem em conta também o sistema de cultivo adotado e a dose de N aplicada ao solo (Quadro 1).

Devido ao fato de não haver opções de cultivos consorciados no “default” do modelo Century, neste estudo foram utilizados como base os dados disponíveis para milho (C4) e aveia (W2) (Metherell et al., 1994) para simular os tratamentos com consórcio de milho + caupi e aveia + ervilhaca, respectivamente. Para isso, foram reduzidos os valores das relações C/N

**Quadro 1. Variáveis e parâmetros do modelo Century 4.0 ajustados na simulação com modificações e seus valores-padrão**

Variáveis e Parâmetros	Valor	
	Padrão	Modificado
<b>Variáveis locais</b>		
Efeito da precipitação pluvial anual na entrada de N pela fixação não simbiótica - EPNFS(2) (g m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup> )	0,028	0,019
<b>Parâmetros fixos</b>		
C/N máxima do material que entra no compartimento lento - VARAT2(1,1)	20	25
C/N máxima do material que entra no compartimento passivo - VARAT3(1,1)	8	14
Fração mensal do total de N mineralizado que é volatilizada - VLOSSG	0,01 0	0,013
<b>Parâmetros de cultivo</b>		
Fator de cultivo para decomposição do compartimento lento - CLETE FF(2)		
PCAM 0N	1,60	2,40
PCAVMC 0N	1,60	2,96
PDAM 0N	1,00	0,70
PDAVMC 0N	1,00	1,10
PCAM 138N	1,60	3,04
PCAVMC 138N	1,60	3,20
PDAM 138N	1,00	1,40
PDAVMC 138N	1,00	1,45

máximas e mínimas da produção de matéria seca das culturas em questão (C4 e W2), baseando-se em estudos realizados no Rio Grande do Sul, que indicam que a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo uma matéria seca com relação C/N intermediária àquelas das culturas isoladas (Derpsch et al., 1985; Heinrichs et al., 2001; Giacomini et al., 2003).

Após esses ajustes, foram formados dois grupos de simulação, sendo um denominado de “simulação com modificações”, em que foram feitas alterações de parâmetros do modelo, e o outro chamado de “simulação-padrão”, que foi idêntica à anterior, porém com todos os parâmetros mantidos na condição original.

### Procedimento de execução do modelo

Para execução do modelo, foram organizados os cenários de manejo em quatro blocos (intervalos de tempo) num mesmo arquivo. O primeiro bloco compreendeu o campo nativo simulado por 6.000 anos anteriores ao ano de 1969 (CN), a partir do qual se iniciou o segundo bloco, correspondendo ao período anterior ao experimento (1970 a 1984), com cultivo de colza e girassol (CG) em preparo convencional do solo. O terceiro bloco compreendeu o período experimental, iniciando-se em 1985 nos diferentes tratamentos de manejo de solo em estudo e encerrando-se em 2003. Por último, tem-se o quarto bloco, que constituiu o período de 2.004 a 2.150, em que foram feitas estimativas futuras da dinâmica do C e do N para os diferentes tratamentos estudados durante o período experimental.

O ajuste das adições de C ao solo foi feito por meio da alteração do parâmetro PRDX das diferentes culturas; assim, nos blocos 1 e 2 o ajuste foi feito com base no COT observado no campo nativo e no início do experimento, respectivamente. Já para o período experimental o ajuste das adições pelo PRDX foi em relação aos valores apresentados por Lovato (2001), considerando-se também os estoques de COT e NT relatados pelo autor. Além disso, no período experimental, para os sistemas de culturas que envolveram leguminosas (AVMC), a fixação simbiótica de N<sub>2</sub> máxima foi mantida em 0,03 e 0,01 g N fixado por g C na brotação na ervilhaca e no caupi, respectivamente.

Para a simulação com modificações, previamente à execução de equilíbrio, procedeu-se ao ajuste da variável local, EPNFS(2), e dos parâmetros fixos, (VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) e VLOSSG), buscando-se, com isso, ajustar a dinâmica do N tanto no campo nativo (bloco 1) como no período anterior ao experimento (bloco 2), os quais permaneceram inalterados nos diferentes cenários de manejo simulados. No bloco 2 também foi utilizado o “efeito adicional de cultivo”. Após considerar-se como adequado o ajuste da dinâmica do N, em relação à dinâmica do C, nos cenários referentes aos dois primeiros blocos, procedeu-se ao ajuste do CLTEFF(2) e do “efeito adicional de cultivo” para os diferentes tratamentos em estudo durante o período experimental (bloco 3) e sua extrapolação até 2150 (bloco 4).

### Variáveis de saída do modelo

O acompanhamento do desempenho do modelo em todos os blocos simulados foi feito a partir das variáveis

de saída CINPOT, SOMTC, SOMTE(1) e TCERAT(1), que correspondem respectivamente a adição de C ao solo no ano, C orgânico total do solo (COT), N total do solo (NT) e relação C/N total do solo. Essas variáveis foram obtidas tanto na simulação-padrão como na simulação com modificações.

No bloco 3, correspondente ao período experimental, também foram utilizadas as variáveis de saída relacionadas com a adição de N pela fixação simbiótica das espécies leguminosas (SNFXAC(1)), quantidade de N alocada nos grãos de milho (EGRain(1)) e absorção de N pelas culturas (EUPACC(1)), servindo como base para análises de adições e retiradas de N pelos sistemas de culturas estimadas na simulação com modificações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As modificações propostas dos coeficientes do modelo geraram alterações nas estimativas das

dinâmicas do C e do N do solo, evidenciadas pelas variáveis de saída relativas a cada elemento.

### Adição de carbono pelas culturas e carbono orgânico total do solo (COT)

Os resultados relativos às quantidades de C adicionadas pelas culturas e os estoques de COT do solo nos diferentes cenários de manejo estimados pelo modelo Century, nas simulações-padrão e com modificações, comparados aos valores observados por Lovato (2001), encontram-se no quadro 2. A representação gráfica da evolução dos estoques de COT até 2150, nos tratamentos sem aplicação de N mineral em ambas as simulações, pode ser visualizada na figura 1a,c, e com aplicação de N mineral, na figura 1b,d.

De modo geral, o modelo Century foi eficiente em estimar as adições de C e os estoques de COT. Nota-se, no entanto, que na simulação-padrão houve pouca diferenciação entre os estoques de COT estimados para os tratamentos sob PC e PD nas duas doses de N

**Quadro 2. Carbono orgânico total (COT) na camada de 0–20 cm e adição de C observados e estimados pelo modelo Century 4.0 nas simulações-padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1998 e 2150**

Dose de N	Tratamento	CLTEFF(2) <sup>(1)</sup>	Adição de C			COT			
			Observado 1985-1998 <sup>(2)</sup>	Estimado		Observado <sup>(4)</sup> 1998	Estimado <sup>(5)</sup>		
				1985-1998 <sup>(3)</sup>	2150		1998	2150	
kg ha <sup>-1</sup>			Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>			Mg ha <sup>-1</sup>			
Simulação-padrão									
0N	PCAM	1,60	4,23	4,19	2,52	29,69	33,98	22,22	
	PCAVMC	1,60	7,52	6,42	6,41	34,13	41,42	40,52	
	PDAM	1,00	3,28	3,89	2,53	36,45	34,27	24,71	
	PDAVMC	1,00	6,90	6,13	6,38	41,58	41,19	46,12	
	Simulação com modificações								
	PCAM	2,40	4,23	4,13	1,85	29,69	29,95	16,06	
	PCAVMC	2,96	7,52	5,88	5,99	34,13	34,18	29,79	
	PDAVMC	1,10	6,90	6,25	6,80	41,58	41,67	47,84	
Simulação-padrão									
138N	PCAM	1,60	6,67	5,81	5,75	34,23	40,04	38,29	
	PCAVMC	1,60	8,39	7,34	7,78	35,74	44,22	47,47	
	PDAM	1,00	6,63	5,97	5,96	38,84	40,71	43,89	
	PDAVMC	1,00	7,83	6,93	7,15	43,53	43,74	51,08	
	Simulação com modificações								
	PCAM	3,04	6,67	5,51	5,57	34,23	34,53	30,02	
	PCAVMC	3,20	8,39	6,42	6,76	35,74	35,77	33,40	
	PDAVMC	1,45	7,83	7,00	7,42	43,53	43,40	50,35	

<sup>(1)</sup> Fator de cultivo para decomposição do compartimento lento. <sup>(2)</sup> Média das adições de 1985–1998 (Lovato, 2001). <sup>(3)</sup> Adições de C estimadas pelo modelo por meio da variável CINPOT. Média de 1985–1998. <sup>(4)</sup> COT observado no experimento para 1998, sendo o COT no CN = 49,25 Mg ha<sup>-1</sup> e no início do período experimental = 36,36 Mg ha<sup>-1</sup> (Lovato, 2001). <sup>(5)</sup> COT estimado pelo modelo por meio da variável SOMTC para 1998 e 2150. CN: campo nativo; PC: preparo convencional; PD: plantio direto; A: aveia; V: ervilhaca; M: milho; C: caupi; 0N: 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral; 138N: 138 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral aplicado na cultura do milho.

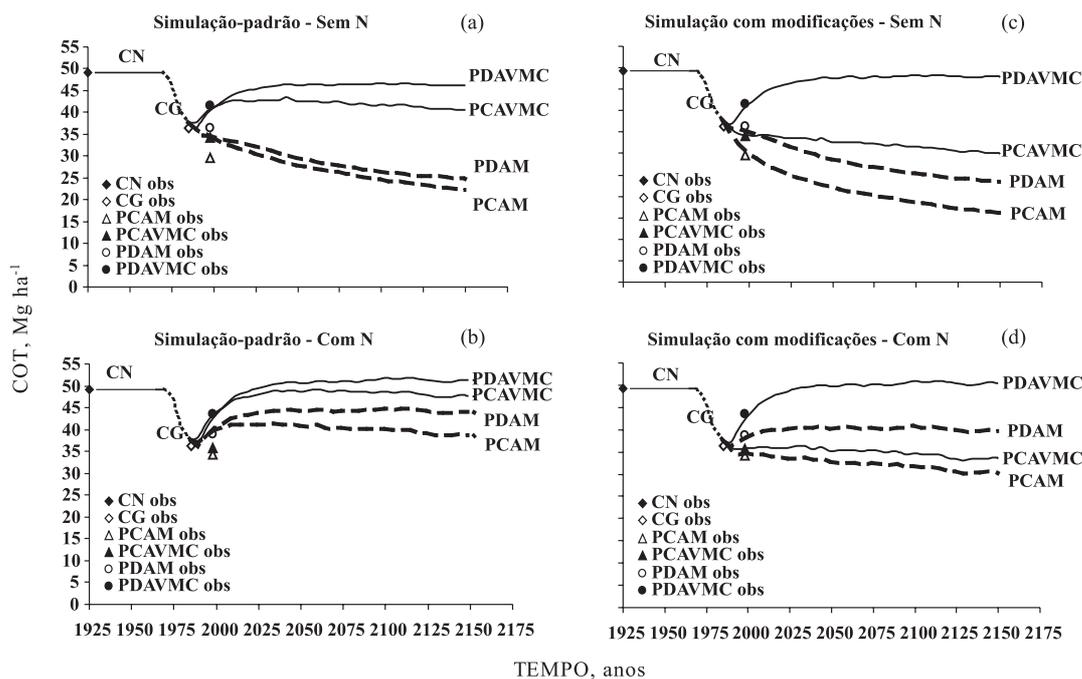


Figura 1. Evolução temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) do solo nas simulações-padrão sem N mineral (a) e com aplicação de N mineral (b) e nas simulações com modificações sem N mineral (c) e com aplicação de N mineral (d) estimada pelo modelo Century 4.0 para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas, comparada aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998. CN: campo nativo; CG: colza/girassol; PC: preparo convencional; PD: plantio direto; A: aveia; V: ervilhaca; M: milho; C: caupi; obs: valores observados.

mineral, em 1998 e na projeção para 2150, considerando-se o mesmo sistema de culturas (Quadro 2 e Figura 1a,b). Esse comportamento não é esperado, visto que dados de campo mostram que o revolvimento do solo tem grande efeito sobre a sua perda de C (Bayer & Mielniczuk, 1997; Amado et al., 2001; Lovato et al., 2004). No entanto, o efeito dos sistemas de preparo sobre a taxa de perda de matéria orgânica depende do tipo de solo, basicamente da sua mineralogia e textura (Parfitt et al., 1997). Quanto mais argiloso o solo e com predominância de minerais de carga variável, como óxidos de Fe e de Al e caulinita, menor a diferença entre as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo submetido a diferentes sistemas de preparo. Nesse sentido, Bayer (1996) verificou, num Latossolo do Sul do Brasil, taxas de decomposição da matéria orgânica de  $0,014 \text{ ano}^{-1}$  no preparo convencional e de  $0,012 \text{ ano}^{-1}$  no plantio direto, o que representou diminuição de 14 %, ressaltando a expressiva contribuição da proteção física na estabilidade da matéria orgânica em solos mais intemperizados e argilosos. Já Silva et al. (1995) encontraram, em condições de lavoura na região dos Cerrados, taxas de perda de matéria orgânica variando de  $0,24$  a  $0,32 \text{ ano}^{-1}$ .

Nesse contexto, as modificações propostas no presente estudo, principalmente no CLTEFF(2), que modifica a taxa de decomposição do compartimento lento, possibilitaram melhorar as estimativas do Century

no sentido da discriminação do efeito do preparo de solo sobre o COT em longo prazo (Quadro 2 e Figura 1c,d).

Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes (2002), com a alteração da taxa máxima de decomposição do compartimento lento (DEC5), nos cenários de manejo relativos aos solos cultivados. No entanto, alterar DEC5 exige execuções do modelo independentes a cada bloco que se deseja simular (condição natural do solo e os diferentes cenários de manejo em estudo), pois este é um parâmetro fixo do modelo. No presente estudo, alternativamente, modificou-se o parâmetro CLTEFF(2), tornando mais prático o procedimento de simulação, pois este parâmetro encontra-se em um arquivo acessório do modelo (cult.100), podendo, portanto, ser incluído como um evento de manejo do solo, funcionando, assim, como um multiplicador para aumentar a decomposição do compartimento lento somente nos meses de interesse. Com isso, foi possível, em uma única execução do modelo, simular diferentes blocos organizados em sequência em um mesmo arquivo de cenários de manejo.

Quanto à adição de C pelos sistemas de culturas, o modelo Century estimou diferenças entre os tratamentos em função da adição de N, tanto mineral como pela fixação biológica. Na simulação com modificações, a redução da quantidade de C adicionada pelas culturas foi bastante acentuada ao longo do



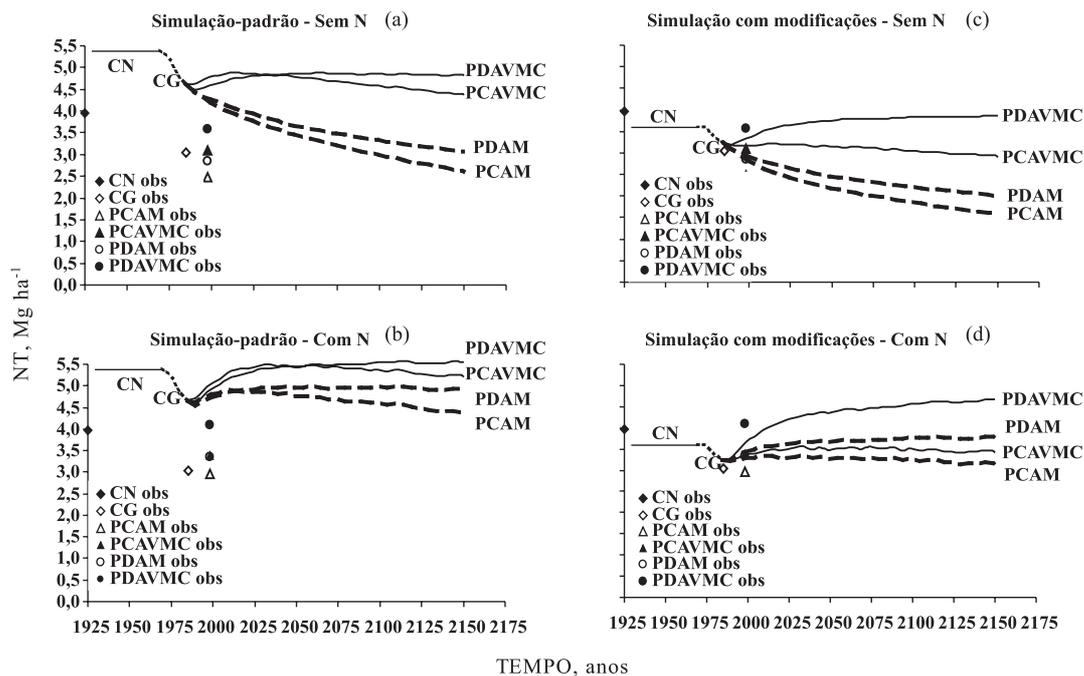


Figura 2. Evolução temporal dos estoques de nitrogênio total (NT) do solo nas simulações-padrão sem N mineral (a) e com aplicação de N mineral (b) e nas simulações com modificações sem N mineral (c) e com aplicação de N mineral (d) estimada pelo modelo Century 4.0 para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas, comparada aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998. CN: campo nativo; CG: colza/girassol; PC: preparo convencional; PD: plantio direto; A: aveia; V: ervilhaca; M: milho; C: caupi; obs: valores observados.

com aplicação de N mineral. Na simulação-padrão, evidencia-se o problema anteriormente mencionado, em que o Century superestimou os estoques de N do solo já na execução de equilíbrio (campo nativo, bloco 1), fato que se propagou em todo o período simulado (blocos 2, 3 e 4). Esse foi o principal indício de que a estimativa da dinâmica do N pelo Century apresentou problemas relacionados aos processos de adição e perda deste elemento já no campo nativo, onde, mesmo sem qualquer tipo de revolvimento e sem adição de N via fixação simbiótica ou fertilizante, o modelo estimou um estoque de  $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de NT acima do observado (Figura 2a,b).

Desconsiderando os valores absolutos e levando-se em conta apenas as tendências nos diferentes tratamentos da simulação-padrão, fica claro que o processo de fixação simbiótica de  $\text{N}_2$  e o efeito da adubação nitrogenada foram estimados de forma coerente com as tendências reais (Quadro 3 e Figura 2a,b). Isso porque a presença das leguminosas nos tratamentos PCAVMC0N e PDAVMC0N e a adição de  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral nos tratamentos PCAM138N e PDAM138N causaram tendência de acúmulo de N no solo, conforme esperado. Entretanto, assim como para o COT, ficaram evidentes as limitações do modelo em relação ao efeito do sistema de preparo de solo adotado, com tendências incoerentes entre o NT estimado pelo modelo e o observado por Lovato (2001).

Nesse contexto, o ajuste da variável EPNFS(2) e dos parâmetros VLOSSG, VARAT2(1) e VARAT3(1), relacionados à dinâmica do N (Quadro 1), permitiu que os valores estimados se aproximassem dos observados já no campo nativo, e isso refletiu-se ao longo de toda a simulação com modificações, ao passo que a alteração do CLTEFF(2), conforme também ocorreu com o COT, permitiu melhorar a estimativa da dinâmica do N nos diferentes cenários de manejo de solo estudados (Figura 2c,d).

Tomando como base o NT na condição de equilíbrio (Ne) estimado por Lovato (2001) com o modelo Woodruff, que é unicompartmental e menos complexo que o Century, e tomando-se como exemplos dois tratamentos extremos, PCAM0N e PDAVMC138N, tem-se para o primeiro um Ne de  $1,60 \text{ Mg ha}^{-1}$  e, para o segundo, um Ne de  $5,23 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Esses valores se aproximam bastante dos estimados pelo modelo Century na simulação com modificações para o ano de 2150 (Quadro 3), o que indica que as tendências estimadas pelo Century, mais a longo prazo, parecem ser coerentes.

Após 165 anos de cultivo (1985 a 2150), na simulação com modificações, nota-se que, na ausência de adubação nitrogenada (Quadro 3 e Figura 2c), somente no PDAVMC0N houve acúmulo de N no solo, superando em aproximadamente 20 % o NT estimado no final de 1984 ( $3,19 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e em 10 % o estimado no

campo nativo ( $3,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Esse resultado deve-se ao não revolvimento do solo e à eficiência da fixação simbiótica de  $\text{N}_2$ , salientando-se o potencial desse sistema de manejo na recuperação da capacidade produtiva do solo. Nos demais tratamentos, houve estimativa de perda de N do solo na ordem de 9 % no PCAVMC0N, 37 % no PDAM0N e 50 % no PCAM0N, em relação ao estimado no final de 1984, sendo ela ainda maior em relação ao NT estimado para a condição original do solo (19, 44 e 56 %, respectivamente). Por outro lado, a adição de  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  de N anualmente na cultura do milho reverteu esse processo de perda do estoque de N do solo. O PCAM138N recuperou 98 % do NT estimado no final de 1984, enquanto os demais tratamentos superaram esse valor em até 46 %, como foi o caso do PDAVMC138N, que, juntamente com os PDAM138N, superou inclusive o NT estimado no campo nativo (Quadro 3 e Figura 2d).

As alterações propostas neste estudo ajustaram as relações C/N do solo estimadas para valores próximos aos observados (Quadro 3), minimizando, assim, as falhas de estimativa da dinâmica do N pelo modelo Century. Segundo Metherell et al. (1994), isso tem grande importância, pois, neste modelo, a relação C/N controla o fluxo de entrada e saída de N entre os compartimentos da MOS, bem como o fluxo entre os compartimentos orgânicos de N e o *pool* de N mineral, estando, desse modo, diretamente ligada aos processos de mineralização e imobilização de N no solo. Uma vez que os submodelos de C e N atuam interligados, a relação C/N também controla indiretamente o submodelo do C. Assim, uma baixa relação C/N faz com que a mineralização seja facilitada e, por consequência, maior quantidade de N torna-se disponível no solo, favorecendo a adição de C pelas culturas e a elevação das taxas de decomposição dos

compartimentos da MOS. Essas falhas de estimativas do NT foram corrigidas já na execução de equilíbrio, cujo efeito se propagou ao longo de toda a simulação com modificações, refletindo-se sobre a dinâmica do N no campo nativo, CG e em todos os tratamentos estudados.

#### Adições e retiradas de nitrogênio pelos sistemas de culturas

No quadro 4 são apresentadas as quantidades de N adicionadas pela fixação simbiótica e adubação nitrogenada, bem como a quantidade desse nutriente extraída nos grãos de milho estimada pelo modelo na simulação com modificações e confrontada com os resultados obtidos por Lovato (2001) em todos os sistemas de manejo de solo em estudo, considerando-se valores médios do período de 1985 a 1998. Cabe destacar que esses parâmetros estão sujeitos a interferências de difícil controle em experimentos de campo. No entanto, a contribuição das leguminosas para o NT do solo e absorção de N pelas culturas é bem evidente, e o efeito benéfico do N sobre as gramíneas, quando consorciadas com leguminosas, é relatado em diversos trabalhos realizados em áreas experimentais (Derpsch et al., 1985; Aita, 1997; Heinrichs et al., 2001; Giacomini et al., 2003). Assim, pode-se considerar que o modelo Century estima essa contribuição de forma coerente com a realidade.

Nesse modelo, por concepção, a fixação simbiótica é inibida pela presença de N mineral, somente sendo ativada quando a baixa disponibilidade de N passa a limitar o crescimento das plantas (Metherell et al., 1994). Pelos dados desta pesquisa, parece que essa inibição é superestimada na presença de adubação nitrogenada. Também nos tratamentos contendo

**Quadro 4. Valores médios anuais de nitrogênio fixado por simbiose, nitrogênio absorvido pelas culturas e alocado nos grãos de milho nos sistemas de culturas, preparo de solo e adubação nitrogenada estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações, confrontados aos valores observados por Lovato (2001). Médias de 13 anos (1985 a 1998)**

Tratamento	N adubo	N fixado		N absorvido		N no grão	
		Observado	Estimado <sup>(1)</sup>	Observado <sup>(2)</sup>	Estimado <sup>(3)</sup>	Observado	Estimado <sup>(4)</sup>
kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>							
PCAM	0	0	0	84	100	21	29
PCAVMC	0	140	99	118	315	38	76
PDAM	0	0	0	71	84	16	27
PDAVMC	0	119	122	112	330	36	81
PCAM	138	0	0	185	182	70	46
PCAVMC	138	108	19	183	345	69	86
PDAM	138	0	0	179	181	67	47
PDAVMC	138	92	43	187	372	71	96

<sup>(1)</sup> Fixação simbiótica estimada pelo modelo por meio da variável SNFXAC(1). <sup>(2)</sup> Soma do N na matéria seca da aveia e do milho.

<sup>(3)</sup> N absorvido estimado pelo modelo por meio da variável EUPACC(1). <sup>(4)</sup> N alocado nos grãos de milho estimado pelo modelo por meio da variável EGRAIN(1); PC: preparo convencional; PD: plantio direto; A: aveia; V: ervilhaca; M: milho; C: caupi.

leguminosas em consorciação com gramíneas a alocação de N na matéria seca e nos grãos foi superestimada, o que não ocorreu naqueles só de gramíneas, onde a quantidade estimada do N alocado na matéria seca e nos grãos de milho se aproximou bastante dos valores observados, independentemente do sistema de preparo do solo. Talvez isso possa estar associado ao fato de o modelo não prever a simulação de cultivos consorciados, havendo assim a necessidade de mais pesquisas com o modelo Century e a dinâmica do N no solo e na planta para que resultados mais conclusivos sejam obtidos.

Resultados relativos ao acúmulo de N por plantas de cobertura, obtidos por Giacomini et al. (2003), evidenciam a superioridade da ervilhaca em relação à aveia quando em culturas isoladas; quando essas duas espécies são consorciadas, é possível combinar a capacidade da aveia em absorver o N disponível do solo à da ervilhaca em fixar o  $N_2$  atmosférico, resultando num acúmulo de N na matéria seca equivalente ao da leguminosa isolada. No entanto, esses autores salientam que é necessário ampliar os estudos com plantas de cobertura, selecionando-se aquelas que melhor se adaptem ao cultivo consorciado, bem como estabelecer a proporção ideal de cada espécie no consórcio, visando maximizar a produção de matéria seca, a adição de C ao solo e o acúmulo de nutrientes, sobretudo de N, P e K.

## CONCLUSÕES

1. Os ajustes relacionados à adição de N por fixação não simbiótica (EPNFS(2)) e perda desse nutriente por volatilização (VLOSSG), bem como a relação C/N dos compostos que entram nos compartimentos lento (VARAT2(1,1)) e passivo (VARAT3(1,1)), possibilitaram que de modo o modelo Century 4.0 estimasse o acúmulo de N no solo coerente com o que realmente ocorre na natureza.

2. O fator de cultivo para decomposição do compartimento lento (CLTEFF(2)) foi dependente do potencial de adição de C pelas culturas e do grau de revolvimento do solo.

3. A redução do preparo e o aumento da adição de C ao solo tenderam a aumentar o seu teor de COT e NT. Além disso, o prolongamento do efeito do revolvimento do solo, a partir do uso do “efeito adicional de cultivo”, permitiu melhor ajuste da dinâmica do C no solo sob sistema de preparo convencional.

4. Com as modificações propostas, as estimativas do modelo Century dos estoques de COT e NT em longo prazo, para os sistemas de manejo de solo estudados, foram coerentes com o esperado, evidenciando que esse modelo tem potencial para ser usado no planejamento e definição de estratégias de manejo de solo na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

## LITERATURA CITADA

- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: Atualização em recomendação de adubação e calagem com ênfase ao plantio direto. Santa Maria, Departamento de Solos – UFSM, 1997. p.76-111.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:235-239, 1997.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. 508p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de  $CO_2$ . R. Bras. Ci. Solo, 24:599-607, 2000.
- BORTOLON, E.S.O. Simulação do impacto da agricultura sobre os estoques de carbono orgânico do solo e o balanço de  $CO_2$  regionais integrando o modelo Century e sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 161p. (Tese de Doutorado)
- DEBARBA, L. Simulação pelo modelo Century do impacto da agricultura sobre o estoque de carbono orgânico em solos do Planalto Riograndense. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 172p. (Tese de Doutorado)
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773, 1985.
- FERNANDES, F.F. Uso do modelo de modo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 156p. (Tese de Doutorado)
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. R. Bras. Ci. Solo, 27:325-334, 2003.
- HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C. & FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 25:331-340, 2001.

- KELLY, R.H.; PARTON, W.J.; CROCKER, G.J.; GRACE, P.R.; KLÍR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P.R. & RICHTER, D.D. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Century model. *Geoderma*, 81:75-90, 1997.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A.; FERNANDES FILHO, E.I. & NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. *Geoderma*, 120:283-295, 2004a.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:347-358, 2004b.
- LOPES, F. Utilização do modelo Century para avaliar a dinâmica do carbono do solo em uma pequena bacia hidrográfica rural. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 143p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, F.; MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G. & OLIVEIRA, E.S. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:745-753, 2008.
- LOVATO, T. Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 133p. (Tese de Doutorado)
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F.M. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:175-187, 2004.
- METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V. & PARTON, W.J. Century: Soil organic matter model environment technical documentation arossystem version 4.0. Fort Collins, USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4)
- OLIVEIRA, E.S. Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 114p. (Tese de Mestrado)
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S. & SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75:1-12, 1997.
- 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 Sci. Soc. Am. J.*, 5:1173-1179, 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., eds. The biological management of tropical soil fertility. Chichester, John Wiley & Sons, 1994. p.171-188.
- PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J. & PERSSON, J. Modelling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:476-488, 1992.
- PROBERT, M.E.; KEATING, B.A.; THOMPSON, J.P. & PARTON, W.J. Modelling water, nitrogen, and crop yield for a long-term fallow management experiment. *Aust. J. Exper. Agric.*, 35:941-950, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:541-547, 1995.
- SILVA, L.M.V. & PASQUAL, A. Dinâmica da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. *Energia Agric.*, 14:13-24, 1999.
- SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. & CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, Gênese, 2000. 174p.
- SILVEIRA, A.M.; VICTORIA, R.L.; BALLESTER, M.V.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A. & PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças de uso da terra na dinâmica do carbono do solo na Bacia do Rio Piracicaba. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:389-399, 2000.
- SMITH, P.; POWLSON, D.S.; SMITH, J.U. & ELLIOT, E.T. Evaluation and comparison of soil organic matter models using long-term datasets. *Geoderma*, 81:1-255, 1997a.
- 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.; MOLINA, J.A.E.; MUELER, 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*, 81:153-225, 1997b.
- TORNQUIST, C.G. Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: Aplicação do modelo Century e sistemas de informações geográficas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 156p. (Tese de Doutorado)
- VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado)