

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**USO DO MODELO CENTURY NO ESTUDO
DA DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO
EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

FLAVIA FONTANA FERNANDES
Engenheira Agrônoma - UFPel

Orientador: Prof. João Mielniczuk
Co-Orientador: Prof. Eduardo Sá Mendonça, UFV

Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção
do grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
abril / 2002

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

F363u Fernandes, Flavia Fontana
 Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul / Flavia Fontana Fernandes. -- Porto Alegre : F.F.Fernandes, 2002.

 xiv, 158f. : il.

 Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2002.

 1. Química do solo : RS : Carbono orgânico : Estudo da dinâmica : Modelo Century : I. Título.

 CDD: 631.41
 CDU: 631.4

Catálogo na publicação:
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

FLÁVIA FONTANA FERNANDES
Engenheira Agrônoma - UFPel
Mestre em Solos - UFRGS

TESE

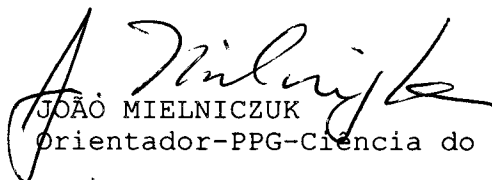
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

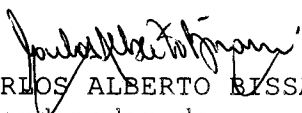
DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

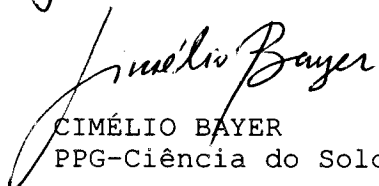
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil


Aprovado em: 30.04.2002
Pela Banca Examinadora

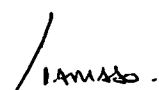
Homologado em: 05.08.2002
Por

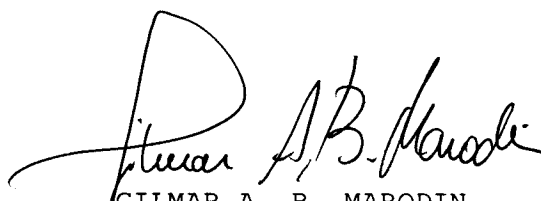

JOÃO MIELNICZUK
Orientador-PPG-Ciência do Solo


CARLOS ALBERTO BYSSANI
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo


CIMÉLIO BAYER
PPG-Ciência do Solo


CELSON AITA
Departamento de Solos/UFSM


TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Departamento de Solos/UFSM


GILMAR A. B. MARODIN
Diretor da Faculdade
de Agronomia

AGRADECIMENTOS

A José Carlos, meu esposo e companheiro de todas as horas, e a nossos filhos, Marina e Guilherme, pelo amor, renúncia e compreensão, sempre. Pelos inúmeros fins-de-semana passados no Parcão, sem os quais não poderíamos ter suportado a urbanidade de Porto Alegre.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Dino e meus sogros, José Carlos e Maria Armeli, pelo exemplo de trabalho, dedicação à família e honestidade. Pelo apoio, especialmente no cuidado com os nossos filhos. Pelo incentivo durante todo o tempo que estivemos em Porto Alegre.

Ao Prof. João Mielniczuk, pelo seu exemplo como aglutinador de pessoas e idéias. Pela impressionante capacidade de trabalho, lucidez e habilidade na orientação do trabalho de cada um de nós. Pela vida que dedicou a todos os seus orientados. Pela amizade e respeito. A sua esposa, Jussara, pelo carinho, compreensão e respeito em todos os momentos.

Aos professores Bardo Bodman (UNISINOS) e Eduardo Mendonça (UFV), pela inestimável colaboração, especialmente na fase inicial do trabalho com o modelo.

À Banca Examinadora, Profs. Telmo Carneiro Amado, Celso Aita e Cimélio Bayer, pelo tempo dedicado e pelas valiosas contribuições para a qualidade deste trabalho.

Aos Profs. Humberto Bohnen, Pedro Alberto Selbach e Cimélio Bayer pela participação na comissão examinadora do exame de qualificação e pelas contribuições e sugestões feitas.

Aos produtores rurais que, pela boa vontade em cederem amostras de solo, permitiram que este trabalho tivesse êxito. Meu respeito e gratidão aos senhores.

E aos colegas Flavio Eltz (UFSM), Roberto Sallet e Fernando Bisso (UNICRUZ), Amando Dalla Rosa e João Becker (COTRISA), Sandra Vicenzi e Leonir Terezinha Uhde (UNIJUÍ), aos colegas da EMATER de Passo Fundo e Vacaria, Denis Goulin, e a Eloy Antonio Pauletto e Ruy José Costa da Silveira, pelo apoio na eleição dos locais dos pontos de amostragem.

Aos colegas da UFPel, pelo exemplo profissional e de amizade e por assumirem minhas atribuições junto ao Departamento de Solos durante minha ausência.

À UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel e Departamento de Solos, pelo estímulo e oportunidade de realização deste Curso.

A Walter, pelos constantes socorros em informática, e Paula, pelo empréstimo do marido. A Sérgio e Cláudia, Marcelo e Maria Helena, Luciano e Tatiane, pelo apoio durante a realização do curso.

Às tias Maria Eulina e Odeth, pelo convívio, carinho e amparo durante toda a jornada.

Ao meus tios Claudio e Isabel, pelo apoio inestimável durante o período do curso.

Aos irmãos de orientação Fabiane Vezzani, Lucio Debarba, Clênio Pillon, Thomé Lovato, e Jefferson Diekow, pelos momentos vividos nas viagens, na Estação Experimental, em nossas reuniões, no dia-a-dia. Em especial, a Fabiane e Lucio, pelo tempo que passamos juntos estudando e ao computador, na busca do domínio do programa, pela persistência e troca de idéias

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS (PPGCS), cuja parceria e companheirismo foram estimulantes, tanto na hora de compartilhar o chimarrão, como nos demais momentos.

A Solange França, uma colega que se tornou uma grande amiga.

A Luciano Kayser Vargas, entre outras coisas, pela convivência e os momentos de bom humor proporcionados a esta colega fascinada por charges.

À Sra. Tania Maria Campelo Machado, Chefe da Divisão de Pós-Graduação e Capacitação Docente/PRPPG/UFPel, a Nanci Ribeiro, do Departamento de Pesquisa/PRPPG/UFPel, sempre presente pela Internet, e aos funcionários do DS-FAEM, em especial, Irani Montiel, pelo suporte administrativo, mesmo à distância.

Aos Funcionários Adão, Joni Filho, Marisa, José, Jorge, Prado, Jader, Marilda, Maria do Carmo, Denise, Antônia, Sueli, Mondardo e Augustinho pela gentileza e atenção e pelo auxílio em alguns momentos.

À direção e funcionários da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, pela colaboração e acolhida nos trabalhos de campo e RU.

À CAPES/PICD-UFPel pela bolsa de doutorado.

À Escola Arco-Íris Mágico, que tornou nossa vida em Porto Alegre mais amena. Pela acolhida, carinho, educação, paciência e cuidado com as crianças. Em especial às professoras Renata, Ana Paula, e Juliana. A Larissa e Paulo, pela franqueza e amizade. Como esquecer a buzina de Tarzan correndo pelas janelas do apartamento e arrancando sorrisos das crianças?

A Gessi e Cláudio, pela amizade e ajuda no período da mudança.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram nesta jornada, meu agradecimento e pedido de perdão.

**Dedico este trabalho a José Carlos, Marina e Guilherme,
que aceitaram desafiar o desconhecido
e concretizar mais este sonho.**

USO DO MODELO CENTURY NO ESTUDO DA DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL^{VI}

AUTOR: Flavia Fontana Fernandes

ORIENTADOR: Prof. João Mielniczuk

CO-ORIENTADOR: Prof. Eduardo Sá Mendonça – UFV

SINOPSE

A dinâmica do carbono (C) no solo envolve processos relativos à sua incorporação na biomassa vegetal, as transformações que esta sofre por ação microbiana, com liberação de CO₂, e o acúmulo de subprodutos desta transformação como matéria orgânica do solo. O modelo Century foi desenvolvido para representar esta dinâmica, incorporando os fatores que a influenciam em suas operações. Atinge este objetivo dividindo a parte terrestre do Ciclo do Carbono em oito compartimentos com base no tempo de permanência do C e sua localização. Apesar de sua relativa eficiência em diversos tipos de solo e biomas, têm sido sugeridas alterações para melhorar seu desempenho em situações especiais desde seu desenvolvimento na década de 80. Na presente pesquisa com o modelo parametrizado para as condições locais, determinou-se os compartimentos de C para dez solos do Rio Grande do Sul com teores variáveis de argila, óxidos de ferro e carbono orgânico total (COT) através de uma execução de equilíbrio. O carbono alocado pelo modelo no compartimento passivo (COP) foi relacionado com diversos atributos de solo, sendo observada correlação significativa com o teor de argila e óxidos de ferro. Em adição a este trabalho, utilizou-se o modelo para estimar o COT do solo e a distribuição de C nos compartimentos num experimento de manejo com treze anos de duração, composto por preparos de solo, sistemas de culturas e doses de nitrogênio, em Argissolo Vermelho Distrófico típico na EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul. Para o melhor ajuste entre o COT observado experimentalmente foi necessário proceder a ajustes na taxa de decomposição do compartimento lento (*DEC5*). Esta taxa mostrou-se dependente do grau de revolvimento do solo e da quantidade de C adicionado pelos sistemas de cultura, observando-se os menores valores nas baixas adições e solo sem revolvimento.

Termos de indexação: Modelo Century; carbono orgânico passivo; compartimentos de carbono no solo; dinâmica de matéria orgânica.

^{VI} Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, (158 p.) – Março /2002.

ORGANIC MATTER DYNAMICS EVALUATED BY THE CENTURY MODEL IN RIO GRANDE DO SUL SOILS^{vi}

AUTHOR: Flavia Fontana Fernandes

ADVISER: Prof. João Mielniczuk

CO-ADVISER: Prof. Eduardo Sá Mendonça – UFV

SUMMARY

The soil carbon dynamics includes its fixation from the air in vegetal biomass, microbial transformations with CO₂ evolution and accumulation of the byproducts as organic matter in the soil. The Century Model was developed to mimic this dynamics and the factors affecting it. In the model, the terrestrial part of the carbon cycle is divided in eight pools based on its location and residence time. Although its relative efficiency in a wide range of soils types and biomes, since its development in the 80's, many modifications have been suggested in order to improve its performance in some special situations. In this research, with the model locally parameterized, the soil carbon pools of ten Rio Grande do Sul Soils with wide range of clay, iron oxides and total organic carbon (TOC) contents were determined by equilibrium execution of the model. The C allocated in the passive pool (POC) had high correlation with clay content and iron oxides. In addition to this work, the model was used to estimate the TOC and its distribution in the soil pools of eight management treatments from one long time experiment with soil tillage, cropping systems and nitrogen levels, established on a Paleodult soil at the University Experimental Station in Eldorado do Sul (RS), Brazil. To obtain the best estimate by the model of the TOC observed experimentally it was necessary to modify the decomposition rate of the slow pool (*DEC5*). The soil tillage and C addition by the cropping systems affected this rate, being observed the lower values of this rate under no-tillage and low addition of carbon.

Indexing terms: Century Model, soil carbon pools, passive pool, organic matter dynamics.

^{vi} Doctorate Thesis in Soil Science. Agronomy Faculty, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS (158 p.) – April, 2002.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	17
2.1.1. Fotossíntese	18
2.1.2. Transformações da matéria orgânica	22
2.1.3. Mecanismos de estabilização da matéria orgânica	26
2.1.4. Modelos matemáticos e a descrição da dinâmica de C no solo	31
2.1.5. Modelo Century	33
2.1.5.1. Compartimentos e fluxos no modelo	33
2.1.5.2. Métodos para determinar os compartimentos.....	39
2.1.5.3. Parametrização e validação do modelo	42
3. HIPÓTESES	44
4. OBJETIVOS	44
5. ESTUDO 1 – CARBONO ORGÂNICO PASSIVO (COP) OBTIDO PELO MODELO CENTURY E SUA RELAÇÃO COM ALGUNS ATRIBUTOS DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL.....	45
5.1. INTRODUÇÃO	45
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	46
5.2.1. Caracterização dos sítios de amostragem.....	46
5.2.2. Descrição do modelo Century v.4.0 e sua utilização.....	51
5.2.2.1. Requisitos do programa e rotina de uso	52
5.2.3. Obtenção dos valores dos compartimentos de carbono	53
5.2.4. Análise Estatística	54
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.3.1. Solos.....	54
5.3.2. Compartimentos de C calculados pelo Century	57
5.3.3. Carbono Orgânico Total (COT)	74
5.3.4. Carbono Orgânico Passivo (COP).....	77
5.4. CONCLUSÕES.....	84
6. ESTUDO 2 – USO DO MODELO CENTURY V. 4.0 PARA A INTERPRETAÇÃO DA DINÂMICA DE C E N EM EXPERIMENTOS DE MANEJO DE SOLOS DE LONGA DURAÇÃO.....	85
6.1. INTRODUÇÃO	85
6.2. MATERIAL E MÉTODOS	87
6.2.1. Descrição sucinta do experimento	87

6.2.2. Tratamentos usados nas simulações	88
6.2.3. Caracterização do sítio de trabalho e do solo	88
6.2.3.1. Descrição do programa Century	90
6.2.3.2. Procedimentos de execução do programa	91
6.2.4. Determinação dos parâmetros a serem utilizados	93
6.2.5. Estudo comparativo das variáveis de saída	95
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
6.3.1. Carbono orgânico do solo	96
6.3.1.1. Ajuste dos coeficientes <i>DEC5</i> e <i>PICO2B(2)</i>	96
6.3.1.2. Escolha da combinação mais adequada dos parâmetros	96
6.3.1.3. Dependência do <i>DEC5</i>	101
6.3.1.4. Variáveis de saída de carbono orgânico	102
6.3.1.5. Carbono orgânico total do solo (COT)	102
6.3.1.6. Distribuição dos compartimentos de carbono	107
6.3.2. Nitrogênio do solo	115
6.3.2.1. Nitrogênio total do solo (NT)	115
6.3.2.2. Relação C/N e variáveis relacionadas à mineralização de N	121
6.4. CONCLUSÕES	127
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
8. APÊNDICES	136

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos da camada arável (0-20 cm) dos solos usados nas simulações de manejo natural.	48
TABELA 2. Caracterização climática geral dos municípios em que foram amostrados os solos. Médias de 30 anos. (Moreno, 1961).....	49
TABELA 3. Distribuição do tamanho de agregados dos solos estudados.	55
TABELA 4. Valores calculados pelo modelo Century v. 4.0 no processo de parametrização dos compartimentos de carbono dos solos sob campo nativo estudados.....	70
TABELA 5. Matriz de correlação entre as variáveis testadas nas regressões.	71
TABELA 6. Equações de regressão para o conteúdo de carbono orgânico total (COT) em função de atributos dos solos sob campo nativo estudados.	75
TABELA 7. Equações de regressão múltipla para o Carbono Orgânico Passivo (COP) calculado pelo Century v. 4.0 e atributos dos solos sob campo nativo.....	79
TABELA 8. Carbono orgânico passivo (COP) calculado pelo Century para os solos sob campo nativo estudados e o C remanescente da oxidação com H ₂ O ₂ a 40°C por 4 horas.....	82
TABELA 9. Tratamentos usados na parametrização do modelo Century v.4.0.	89
TABELA 10. Práticas de manejo de solo adotadas para as simulações com o modelo Century 4.0.	93
TABELA 11. Equações de regressão múltipla do carbono orgânico total (COT) em função dos parâmetros fixos <i>DEC5</i> e <i>PICO2B(2)</i> do modelo Century v. 4.0 para os tratamentos estudados.	99
TABELA 12. Valores de <i>DEC5</i> eleitos para o uso nas simulações com o modelo Century v. 4.0 para cada tratamento estudado.	99
TABELA 13. Carbono orgânico total (COT) observado para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (AVd) do experimento e simulado pelo Century, com os parâmetros do <i>FIX.100</i> padrão e <i>DEC5</i> modificado, e por Woodruff nos anos de 1998 e 2150.	105

- TABELA 14. Distribuição dos compartimentos de carbono para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (AVd) do experimento, segundo estimativas do modelo Century, usando os parâmetros do *FIX.100* padrão e com *DEC5* modificado, nos anos de 1998 e 2150. 109
- TABELA 15. Nitrogênio Total (NT) observado para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) do experimento no ano de 1998 confrontando às estimativas pelo modelo Century, usando parâmetros padrão do *FIX.100* e com *DEC5* modificado, e por Woodruff para os anos de 1998 e 2150. 119
- TABELA 16. Variáveis relativas à mineralização de N e quantidade absorvida pelas plantas estimadas pelo modelo Century, com parâmetros padrão do *FIX.100* e com *DEC5* modificado, do modelo Woodruff, e observadas para os sistemas de preparo de solo, sucessão de culturas e adubação nitrogenada no ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) do experimento. 122
- TABELA 17. Médias de Mineralização Líquida Total de N no solo (*TNETMN(1)*) e Absorção Anual de N pelas Culturas (*EUPACC(1)*), estimadas pelo modelo Century com *DEC5* modificado, para os sistemas de sucessão de culturas, preparo de solo e doses de N no ano de 2150. 125

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Esquema comparativo entre as rotas fotossintéticas C3 e C4.....	20
FIGURA 2. Modelo conceitual do processo de formação e decomposição de microagregados e seqüestro de C proposto por Golchin et al. (1994).	31
FIGURA 3. Diagrama de fluxo dos compartimentos de C segundo o Modelo Century (Metherell, 1994).	35
FIGURA 4. Localização dos municípios de amostragem dos solos no Estado do Rio Grande do Sul.	47
FIGURA 5. Relação entre a argila (A) e a soma de silte e argila (B) com as classes de agregados estáveis dos solos estudados, segundo metodologia adaptada de Silva, 1993.....	56
FIGURA 6. Relação entre a quantidade de carbono orgânico na camada arável (0-20 cm) e as classes de macroagregados estáveis em água dos solos estudados, segundo metodologia adaptada por Silva (1993).....	57
FIGURA 7. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (LVaf) pertencente à unidade de mapeamento Erexim e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. <i>SOMIC(2)</i> = C ativo do solo; <i>SOM2C</i> = C lento; <i>SOM3C</i> = C passivo, outros = demais compartimentos de C.....	59
FIGURA 8. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf) da unidade de mapeamento Santo Ângelo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. <i>SOMIC(2)</i> = C ativo do solo; <i>SOM2C</i> = C lento; <i>SOM3C</i> = C passivo, outros = demais compartimentos de C.....	60
FIGURA 9. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Bruno aluminico câmbico (LBa) pertencente à unidade de mapeamento Vacaria e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. <i>SOMIC(2)</i> = C ativo do solo; <i>SOM2C</i> = C lento; <i>SOM3C</i> = C passivo, outros = demais compartimentos de C.....	61

- FIGURA 10. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd1) pertencente à unidade de mapeamento Cruz Alta e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 62
- FIGURA 11. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd2) pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 63
- FIGURA 12. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd1) pertencente à unidade de mapeamento São Pedro e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 64
- FIGURA 13. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd2) pertencente à unidade de mapeamento São Jerônimo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 65
- FIGURA 14. Dinâmica dos compartimentos de carbono no solo Litólico distrófico (RLd) da unidade de mapeamento Pinheiro Machado e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 67
- FIGURA 15. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Vertissolo Ebânico Órtico (VEo) pertencente à unidade de mapeamento Aceguá e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 68
- FIGURA 16. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Planossolo Háplico distrófico (SXd) pertencente à unidade de mapeamento Bagé e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. $SOMIC(2)$ = C ativo do solo; $SOM2C$ = C lento; $SOM3C$ = C passivo, outros = demais compartimentos de C..... 69
- FIGURA 17. Relação entre a quantidade de argila no solo e a temperatura média anual do ar sobre o teor de carbono orgânico total (COT) dos solos estudados. 78

- FIGURA 18. Relação entre o carbono passivo (COP) e o conteúdo de Argila e Ferro em DCB das amostras dos solos estudados..... 81
- FIGURA 19. Relação entre o COP determinado pela análise com H_2O_2 a 40 °C e o COP calculado pelo Century v.4.0 para os solos sob campo nativo. Onde: (A) = regressão com LBa; (B) = regressão retirando o solo LBa. 83
- FIGURA 20. Seqüência de atividades usadas para a produção das simulações..... 92
- FIGURA 21. Superfícies de resposta do carbono orgânico total (COT) na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) para as simulações com o modelo Century v.4.0, usando-se variações dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)* do *FIX.100* na sucessão aveia – milho (AM), em sistemas de preparo de solo e nível de adubação nitrogenada. 97
- FIGURA 22. Superfícies de resposta do carbono orgânico total (COT) na camada 0–20 cm do Argissolo Vermelho Distrófico (AVd) para as simulações com o modelo Century v.4.0, usando-se variações dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)* do *FIX.100* na sucessão aveia + ervilhaca – milho + caupi, em sistemas de preparo de solo e nível de adubação nitrogenada. 98
- FIGURA 23. Relação entre as adições de C ao solo determinadas pela variável *CINPUT* sobre os parâmetros fixos *DEC5* do modelo Century v. 4.0 selecionados para as simulações. SD = semeadura direta; PC = preparo convencional; AM= aveia/milho; AVMC = aveia+ervilhaca/milho+caupi; 0N= sem adubação nitrogenada; 138 N = 138 KgN.ha⁻¹. 101
- FIGURA 24. Dinâmica do carbono orgânico total do solo simulado pelo Modelo Century v.4.0 com *DEC5* padrão e modificada para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas e adubação nitrogenada no Argissolo Vermelho Distrófico do ensaio experimental contraposto aos dados observados em 1985 e 1998 por Lovato (2001). 104
- FIGURA 25. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional na sucessão aveia/milho sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; PCAM = preparo convencional aveia/milho; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C*= COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono. 112
- FIGURA 26. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob semeadura direta na sucessão aveia/milho sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional;

SDAM = semeadura direta na sucessão aveia/milho; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono. 113

FIGURA 27. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional na sucessão aveia+ervilhaca/ milho+caupi sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; PCAVMC = preparo convencional aveia+ervilhaca/milho+caupi; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono. 114

FIGURA 28. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob semeadura direta na sucessão aveia+ervilhaca/ milho+caupi (A) sem adubação nitrogenada e (B) com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; SDAVMC = preparo convencional aveia+ervilhaca/milho+caupi; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono. 116

FIGURA 29. Nitrogênio Total (NT) obtido nas simulações com o modelo Century v.4.0 com *DEC5* padrão e modificada para o Argissolo Vermelho Distrófico (AVd) do experimento confrontados aos valores determinados por Lovato (2001) para os tratamentos com nitrogênio. 117

1. INTRODUÇÃO

A importância do armazenamento de carbono no solo pode ser vista sob o aspecto da manutenção da sua qualidade. Segundo Doran e Parkin (1994), este conceito refere-se à capacidade do solo em sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, animais e seres humanos, estando limitado por um ecossistema natural ou manejado. Estimativas apresentadas por Doran (1997) indicaram que cerca de 10% das áreas agricultáveis do planeta já estavam severamente degradadas na década de 90. A persistir este quadro, a capacidade global de produzir alimentos e fibras estará comprometida no futuro, pois 99% do suprimento alimentar humano provêm do solo e ecossistemas associados (Lal et al., 1995).

Outro ponto a destacar refere-se ao ciclo do carbono e ao potencial de aquecimento global pela emissão de gases como o CO₂ para a atmosfera. De acordo com Lal et al. (1995), os solos armazenam no primeiro metro superficial o dobro da quantidade de carbono presente na atmosfera e mais de três vezes a da biomassa vegetal terrestre. Entretanto, o fundamental é que esse C do solo pode estar sujeito a mudanças à medida que seu uso é alterado (Greenland, 1995).

Normalmente ocorre o consumo de 20 a 30% do C original do solo sob manejo natural quando este é incorporado ao sistema agrícola (Mann, 1986), significando liberação do C estocado no solo para a atmosfera. Este consumo, contudo, pode ser maior, havendo relatos, como os de Pennock e Frick (2001), de perdas da ordem de 50% em 80 anos em solo chernozêmico, sob clima temperado no Canadá. Em condições tropicais a perda também é importante, podendo chegar a 70% em 60 anos, conforme Greenland et al. (1992).

A intensidade das perdas devido à incorporação do solo ao sistema agrícola é afetada principalmente pelo patamar de biomassa adicionada por ano, e por condições locais como o regime hídrico e também quantidade e tipo de argilomineral dominante (Greenland et al., 1992). Por outro lado, a recuperação de áreas degradadas poderia elevar os estoques de carbono no solo, oferecendo um potencial enorme de seqüestro de carbono numa perspectiva global, haja visto que há pelo menos 2×10^9 ha de terras com algum grau de degradação (Lal et al., 1995).

Baseado no exposto anteriormente, tanto pela necessidade de manutenção da capacidade produtiva, como pela perspectiva ambiental de seqüestro de C pelos solos, é preciso estudar o efeito da interferência do homem sobre a capacidade de armazenamento de carbono pelos mesmos, bem como o entendimento dos processos envolvidos. Muitos estudos têm sido realizados com esta finalidade. Entretanto, tendo em vista o tempo de formação do solo, os períodos de avaliação destes estudos ainda são pequenos, normalmente de algumas décadas. O uso de modelos permite extrapolar os resultados obtidos para faixas de tempo mais longas, podendo se constituir numa importante ferramenta para o planejamento e definição de sistemas de manejo mais adequados a longo prazo e, portanto, sustentáveis.

Num exercício comparativo entre nove modelos, Smith et al. (1997) comprovaram a precisão do modelo Century v.4.0 para doze situações diferentes, especialmente em solos de campo e lavoura. Optou-se por testá-lo para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, justamente por apresentar uma boa performance de simulação em diferentes tipos de bioma, como campo, floresta e lavoura, estando entre os modelos mais testados atualmente. E é neste contexto que se desenvolve este trabalho. Para elaborar a idéia, inicialmente serão abordados aspectos sobre a dinâmica do carbono orgânico do solo relacionados com as adições e decomposições, os mecanismos de proteção à decomposição e, finalmente, a modelagem destes processos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser definida como aquela porção do solo composta por um grande número de moléculas orgânicas com diferentes graus de complexidade e tamanho, apresentando comportamentos diferenciados, decorrentes de suas variadas propriedades químicas e físicas. Sua importância relaciona-se com a contribuição significativa de cargas que retêm íons no solo, complexação de elementos tóxicos às plantas e ao poder tampão de pH. É o principal reservatório de N, P, S e C, ainda influenciando atributos físicos importantes, entre eles: a capacidade de armazenamento de água e a estrutura do solo.

A quantidade de MOS presente no solo é determinada pelo balanço entre as adições e as perdas que ela sofre e é proporcional às quantidades de carbono orgânico total (COT) do solo, uma vez que este é um dos seus principais componentes. Num sistema agroecológico, as adições são devidas principalmente ao CO₂ do ar fixado na fitomassa através da fotossíntese e/ou por adubações orgânicas. Já as perdas de COT se dão pela liberação de CO₂ por respiração de microorganismos que decompõem o material orgânico (resíduos animais e vegetais) e a MOS, e perdas de compostos orgânicos por lixiviação, fotooxidação e erosão. Portanto, o COT do solo é influenciado pela quantidade de fitomassa produzida na área e pelo manejo adotado, além de atributos edafoclimáticos (Bayer, 1996; Anderson et al., 1989).

Pode-se dizer então que a quantidade de C adicionada ao solo é resultado direto e/ou indireto da fixação do CO₂ atmosférico pela atividade fotossintética, correspondendo ao primeiro processo que concorre para efetivar a adição de C ao solo. Entretanto, para haver adição, a fitomassa deverá entrar em contato com o solo e ser

decomposta numa série de transformações subseqüentes, que vão resultar na formação e mineralização da matéria orgânica do solo. Segundo Anderson et al. (1989) estes processos são determinados não só pelo clima e condições do solo, mas também pela qualidade do resíduo e pela atividade de raízes, microorganismos e fauna do solo. Como há relações complexas e interligadas entre estes agentes, usam-se simplificações, exigindo a elaboração e uso de modelos matemáticos para a descrição do processo. No enfoque das relações envolvidas com a troca de matéria e energia no ciclo do carbono, ressalta-se a ação tanto de componentes bióticos como abióticos do ecossistema. Entre os bióticos, incluem-se organismos autotróficos (produtores primários), e organismos heterotróficos (consumidores e decompositores ou saprofitos). Estabelece-se assim uma cadeia em que há processos de troca com o solo, ar e organismos (Larcher, 1973). Os principais componentes destas relações também são utilizados pelo modelo Century na descrição do processo de dinâmica do carbono no solo e serão abordados no decorrer deste texto.

O modelo Century gera a contribuição das plantas superiores através de submodelos de crescimento de plantas (campo/culturas, floresta, savana) e leva em consideração aspectos teóricos da fotossíntese, disponibilidade de água e nutrientes no solo, permitindo ainda simular o efeito do aumento de CO₂ atmosférico sobre a produção vegetal. E foi por este motivo que os principais aspectos relacionados à fotossíntese e aplicados nos submodelos de planta foram incluídos nesta revisão.

2.1.1. Fotossíntese

Nos ecossistemas terrestres, a maior parte do CO₂ atmosférico é fixada pelas plantas superiores, e uma fração menor por algas cianofíceas e eucarióticas ou bactérias autotróficas e quimiotróficas (Insan, 1996). A fotossíntese pode ser conceituada como o processo que permite a fixação do CO₂ atmosférico no tecido vegetal pelo uso de luz, água e nutrientes providos pelo solo (Sharkey, 1985). Possibilita a transformação da energia solar fotossinteticamente ativa em energia de ligações químicas e ocorre principalmente na folha (Jones, 1992). A folha é especializada para interceptar e regular a captação dessa radiação. A nível celular, as estruturas responsáveis pelo processo são os cloroplastos, que por sua vez são formados por um conjunto de grana, ou agrupamentos de tilacóides empilhados. É no interior e ao redor destes tilacóides que se encontram os pigmentos, enzimas, e substratos, responsáveis pelo desencadeamento do processo, que será apresentado a seguir. A atenção estará voltada apenas à fotossíntese

em plantas superiores, porque os objetivos deste trabalho estão concentrados em agroecossistemas de sequeiro.

O processo fotossintético ocorre em duas etapas interligadas. A primeira é altamente dependente de luz e está voltada para a produção de compostos energéticos para a fase seguinte, chamada de fase fotoquímica e de transferência de elétrons. A segunda etapa se ocupa da fixação do CO_2 e sua redução a carboidratos, sendo regulada basicamente por produtos gerados na fase anterior, disponibilidade de fósforo inorgânico e pCO_2 (Sharkey, 1985). É denominada de fase bioquímica.

A radiação fotossinteticamente ativa é absorvida na fase fotoquímica, excitando os pigmentos envolvidos com sua captação. Os elétrons provenientes da lise da água são então carregados através de um sistema transportador até a formação de NADPH_2 , o redutor que permite fixar o CO_2 em triose-P, que posteriormente poderá ser convertida em sacarose ou amido. Associado ao NADPH , também ocorre formação de ATP, que é gerado pela bomba de prótons formada no interior do tilacóide. Na fase bioquímica, a assimilação do CO_2 atmosférico é realizada pela enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxidase (Rubisco). Esta enzima desempenha tanto função carboxilase, participando assim da fotossíntese, como oxidase, promovendo a fotorrespiração ou oxidação, com posterior liberação de CO_2 . Este segundo processo representa uma alternativa de desperdício de energia que visa compensar possíveis excessos de energia no sistema, mas que pode representar uma perda de eficiência fotossintética de 20-50 % segundo Drake et al. (1997).

Algumas espécies apresentam rotas metabólicas alternativas, como uma resposta evolutiva voltada para diminuir este problema. Sob o ponto de vista de agroecossistemas pode-se destacar duas rotas fotossintéticas principais: C3 e C4 (FIGURA 1).

Pelo processo bioquímico da fotossíntese C3, são geradas duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3PGA), que é um produto com 3 carbonos. Por outro lado, na rota C4 há uma separação espacial do processo. A enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-carboxilase) tem grande afinidade por CO_2 , mesmo a baixas concentrações e não apresenta os inconvenientes de afinidade por O_2 da rubisco. Esta enzima localiza-se nas células do mesófilo, reduzido o CO_2 a malato ou aspartato, que é transportado ativamente (ATP) para o interior das células da bainha de Kranz. No seu interior ele é oxidado, liberando CO_2 , e piruvato. No cloroplasto destas células está a Rubisco e o

processo continua até a formação das triose-P. O piruvato retorna ao mesófilo, fechando o ciclo. A rota é denominada C4, porque o produto da carboxilação (oxalacetato) tem 4 carbonos (Larcher, 1973, Jones, 1992).

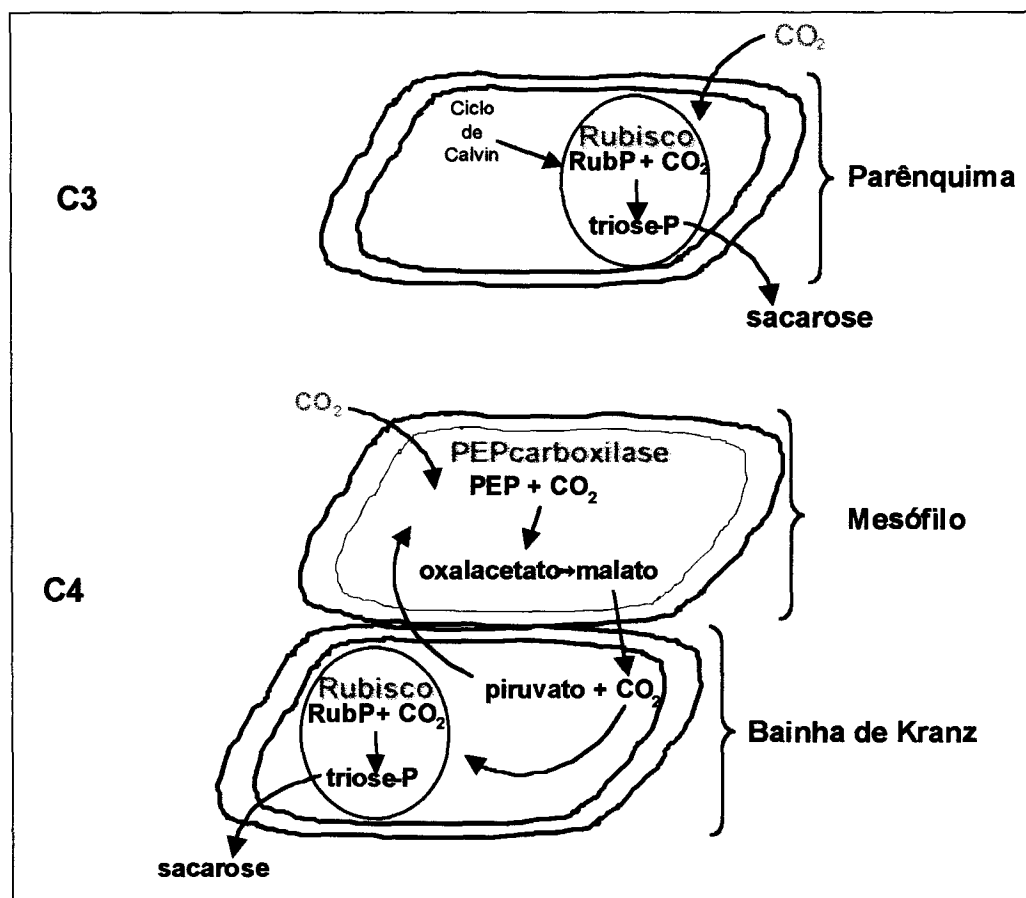


FIGURA 1. Esquema comparativo entre as rotas fotossintéticas C3 e C4.

Resumindo comparativamente as rotas C3 e C4, deve-se destacar que as plantas C4 têm maior eficiência fotossintética porque sua Rubisco trabalha saturada em CO₂. Também não há a mesma competitividade deste com o oxigênio, porque as células da bainha de Kranz são suberizadas e impermeáveis a gases. Desta forma, são também mais eficientes no uso dos recursos N e água, fisiologicamente caros à planta (Drake et al. 1997).

Outra diferença entre essas plantas reside no ótimo térmico fisiológico. As plantas C4 são adaptadas para temperaturas mais altas que as C3. Sendo assim, o ótimo térmico para fotossíntese líquida nas plantas C4 está na faixa dos 30-50 °C, ao passo que nas C3, esta temperatura é de 10-20°C (Larcher, 1973). Da mesma forma, os limites térmicos variam entre elas. O mesmo autor cita diversos trabalhos pelos quais estes limites encontram-se a temperaturas abaixo de -2 a 0°C e acima de 40-50 °C para

plantas cultivadas C3. Já em herbáceas C4 de habitats quentes, o limite passa para temperaturas menores que 5-7 °C e acima de 50-60 °C. Também é variável a maneira como elas reagem ao aumento da pCO₂. Espera-se que plantas C3 respondam melhor a estes aumentos por não trabalharem saturadas em CO₂, conforme já foi comentado. Mas este efeito dependerá principalmente da disponibilidade de água e nitrogênio no solo, bem como de luz, conforme Drake et al. (1997).

Outro item importante para se observar no processo de adição de carbono ao solo está ligado ao balanço do C no interior da planta. Analisando sob este ponto de vista, é necessário computar também a respiração produzida por órgãos que não realizam fotossíntese, e que precisam de fotossintatos, como caules lenhosos e raízes, por exemplo. Essa contabilidade varia entre espécies, em função de suas estratégias de alocação de recursos e será crítica na compreensão da dinâmica da MOS, já que influenciará a proporção de carbono que é adicionada na superfície ou no interior do solo. Para Larcher (1973), é possível associar esta partição do carbono às necessidades impostas pelo ambiente em que a planta vive, dividindo-as em grupos.

Plantas anuais são predominantemente herbáceas que devem crescer e se reproduzir num curto período de tempo. Para atingir este objetivo, empregam os fotossintatos de modo a formar tecidos abundantes o mais rapidamente possível. Sendo assim, as folhas que compõem 30-50 % da massa seca na fase de crescimento, contra aproximadamente 30% para raízes, passam a 10-20% na maturação, quando a maior parte dos fotossintatos é translocada para os frutos.

As ervas perenes compõem outra categoria. Como são herbáceas que vivem vários anos, apresentam um comportamento semelhante às anuais no primeiro ano de vida, de forma a garantir seu estabelecimento. Mas próximo ao final da estação de crescimento elas separam os fotossintatos excedentes para estruturas de armazenamento. Somente após terem garantido reservas para suplantarem a fase hibernar é que elas emitem as flores. Os fotossintatos armazenados serão usados na estação de crescimento seguinte para restabelecer rapidamente sua parte aérea. Assim, a produção de matéria seca abaixo do solo pode ser duas a quatro vezes maior que a da parte aérea, devido à presença de órgãos de armazenamento. As plantas perenes de campo nativo enquadram-se preferencialmente nesta classe.

As árvores compõem o último grupo, sendo divididas pelo autor em dois subgrupos: decíduas e não decíduas, quando adultas. No seu período inicial de

desenvolvimento, muitas vezes estão sombreadas pelas adultas e investem mais em folhas. A alocação de C para folhas pode representar até 50 % da matéria seca total, reduzindo-se à medida que o tronco e os galhos começam a se formar. Já numa planta adulta, a proporção de folhas pode significar de 1-5 % da sua massa seca. Como consequência, a aquisição de C e aumento da massa é modesta se comparada à de plantas herbáceas, embora isto não se traduza em desvantagem, uma vez que seu ciclo de vida é mais longo. A maior parte dos fotossintatos é convertida em madeira, ficando inacessível para a planta, mas sendo necessária para sua estrutura de sustentação.

Em árvores decíduas as reservas de carboidratos são esvaziadas antes da queda das folhas, translocadas para as gemas, e posteriormente usadas para a nova brotação. Cerca de 1/3 das reservas das plantas é usado para a construção de superfícies de assimilação fotossintética, apressando operar em balanço positivo, para então lançar novas folhas e ramos. Somente após restabelecida esta estrutura que a planta volta a se suprir de fotossintatos e alocá-los preferencialmente a flores e frutos, e outras partes. Como resultado, há uma competição entre a produção de frutos e o crescimento de tecido de suporte. Se o suprimento for reduzido, a planta privilegiará o crescimento vegetativo.

Árvores não decíduas apresentam outra estratégia de crescimento e alocação de carbono. Como mantêm seus órgãos de assimilação, não precisam despende energia na renovação total de seu aparato após o período de dormência. Quando os botões começam a se abrir, o C armazenado nos brotos velhos pode suprir a maior parte da demanda de fotossintatos, sendo o restante complementado pelas raízes e reservas apicais. Sendo assim, as folhas novas amadurecem mais rapidamente, permitindo que este tipo de árvore incorpore até 3 vezes mais massa que as decíduas.

Estes processos podem ser modelados matematicamente. O modelo de crescimento vegetal do Century leva em conta estas diferenças para reproduzir a fixação de C via fotossíntese e a distribuição do C entre as partes da planta relacionando-as com atributos ambientais como a disponibilidade de água, N, P, e S, e mesmo com o aumento do CO₂ atmosférico, ou com isótopos ¹⁴C ou ¹³C.

2.1.2. Transformações da matéria orgânica

As transformações que ocorrem após a adição dos resíduos ao solo compreendem outra parte importante do Ciclo do Carbono. A formação da matéria

orgânica do solo depende tanto da fixação do CO₂ atmosférico nos tecidos vegetais pela fotossíntese, como destes processos de transformação. Segundo Anderson et al. (1989) elas podem ser separadas em três etapas: decomposição dos resíduos, formação propriamente dita da matéria orgânica do solo e sua estabilização. Essas transformações envolvem movimentação de partículas e/ou compostos orgânicos ao longo do perfil do solo, processos químicos, físicos e biológicos, além de ocorrerem ao longo de uma faixa de tempo variável. Na etapa de degradação, os resíduos são consumidos por ação de macro e microorganismos, que retêm parte do C na sua biomassa e liberam CO₂ pela respiração. Uma pequena parte desse material ainda é convertida a compostos orgânicos complexos e de alto peso molecular, mais resistentes à decomposição, as substâncias húmicas (SH) ou matéria orgânica humificada (MOH).

Saint-Jimenez (1996) divide a matéria orgânica do solo em substâncias húmicas (SH) e não-húmicas (SNH). As SH são formadas por compostos transformados, que perderam as características dos seus precursores. Não possuem fórmula definida, sendo normalmente formadas por compostos poliméricos produzidos pela ação microbiana, de coloração escura e dotados de alta área superficial específica (ASE). E as SNH, por sua vez, são compostas por moléculas cujas características químicas ainda permitem identificá-las e incluí-las em grupos, tais como polissacarídeos, aminoácidos, ácidos nucleicos, ou lipídeos. De acordo com Siqueira et al. (1994), o húmus (SH) influencia alterações nos atributos do solo, como o aumento da ASE, CTC, e efeito-tampão; é agente de reações de quelação, complexação, retenção de nutrientes e xenobióticos; fonte de nutrientes como N, P, S e micronutrientes; melhora atributos físicos como aeração, retenção de água, agregação, e capacidade de infiltração de água.

O processo de decomposição dos resíduos adicionados ao solo, segundo Anderson et al. (1989), é controlado por dois grupos de fatores: aqueles relativos à qualidade e quantidade de resíduo e aqueles relacionados ao ambiente em si. Primariamente a sua biodegradabilidade (qualidade) é considerada importante por facilitar ou não a atividade enzimática. O autor ainda se refere à necessidade de C lábil, ou seja, presença de compostos de decomposição mais fácil, como fonte de carbono para decompor moléculas mais recalcitrantes como polímeros e compostos aromáticos no solo. Contudo, a longo prazo, os fatores ambientais tornam-se mais importantes no controle do processo de decomposição. Condições propiciadas pelo clima e solo, como temperatura, umidade, aeração, interações com os minerais do solo e cátions presentes,

são mais importantes a médio e longo prazo, pois a grande maioria das substâncias orgânicas pode ser decomposta por microorganismos (Alexander, 1994). Desta forma, o tempo de ciclagem do C é controlado tanto pela recalcitrância intrínseca da molécula como pelos fatores ambientais. Entre os atributos de solo que afetam o microambiente de decomposição, tanto Christensen (1996) como Feller e Beare (1997) destacam a textura e a estrutura, a proteção relativa aos organismos decompositores do solo e a estabilização das moléculas orgânicas como os mais importantes.

Os compostos mais comuns presentes na fitomassa que é adicionada ao solo são celulose, hemiceluloses e lignina. A celulose é o composto mais abundante, podendo representar até um terço de todo o CO₂ fixado pelas plantas. É um polímero de glicose insolúvel em água, cuja decomposição ocorre pela ação da enzima celulase, que é produzida por muitos gêneros de bactérias e fungos (Paul e Clark, 1989). De acordo com Siqueira et al. (1994), as hemiceluloses são estruturalmente semelhantes à celulose, a seguindo em abundância. Compõem um grupo de polissacarídeos compostos por arranjos de pentoses, e hexoses, podendo ainda conter ácidos urônicos. A sua decomposição é mediada por várias enzimas, produzidas por fungos, responsáveis pelo início do ataque, e bactérias. O terceiro grupo de moléculas do resíduo vegetal é composto pela lignina. Representa 25% de toda fitomassa produzida na biosfera anualmente e é uma molécula recalcitrante, com alto peso molecular e estrutura aromática em arranjo tridimensional. Por esse motivo, sua taxa de decomposição é bem menor que para os grupos anteriores. Ela é decomposta basicamente por fungos especializados, principalmente basidiomicetos e ascomicetos, que atacam tanto lignina como celulose em ambiente aeróbio. Siqueira et al. (1994), citam evidências de participação de bactérias na decomposição de ligno-celulose, e de bactérias aeróbias, na redução do peso molecular de lignina. Outro fato importante na sua decomposição, segundo Paul e Clark (1989) e Martin e Haider (1986), é que apenas uma pequena parte (menos de 1%) do C da lignina é incorporada à biomassa microbiana. Quanto às condições ambientais, sua decomposição é facilitada na presença de O₂, na faixa de pH de 4,0 a 4,5 e temperaturas de 25-30°C e umidade relativa acima de 60%. Como há necessidade de C lábil, uma relação C/N no resíduo de aproximadamente 25:1 também é desejável.

Outras substâncias podem ser importantes e influenciar as taxas de decomposição, embora não sejam tão abundantes. Entre elas estão os polifenóis. Estas

moléculas são recalcitrantes, retardando a decomposição dos resíduos, e, portanto, são usadas para prever sua biodegradabilidade. Assim, uma maneira de avaliar a qualidade de um resíduo é determinar as relações C/N, lignina/N, polifenóis/N. Via de regra, quanto maior a relação de C, polifenóis e lignina para o N do resíduo, mais difícil e relativamente demorada sua decomposição (Myers et al., 1997).

A adição de carbono é produzida com resíduos vegetais, animais e de biomassa microbiana. Os resíduos de folhas, ramos, galhos, frutos, etc. que são depositados na superfície do solo compõem a liteira. A sua decomposição é dada pelas perdas de massa sofridas em função da ação bioquímica de enzimas microbianas e de animais, quebras físicas provocadas por animais ou processos abióticos, e lixiviação de materiais solúveis em água. Como consequência dessas transformações sofridas pela liteira, tanto os materiais particulados como os solúveis podem ser transportados para dentro do perfil do solo por invertebrados, água ou ação da força de gravidade, atingindo sítios sob condições químicas e biológicas diferentes das ocorrentes na superfície do solo. A solubilização de seus constituintes e realocação e precipitação por reações de condensação em solos minerais são processos importantes na estabilização do húmus (Anderson et al., 1989).

As adições abaixo da superfície do solo apresentam maior eficiência de conversão que a adição superficial, representada pelos resíduos provenientes do sistema radicular das plantas na forma de exudatos e raízes mortas. Balesdent e Balabane (1996) verificaram que a contribuição do sistema radicular de milho para o carbono do solo foi maior que a proveniente da soma de folhas e colmos, embora a biomassa radicular representasse menos da metade do total. Eles atribuíram o fato às taxas de decaimento relativamente baixas das raízes em relação à parte aérea, porque o material apresentava maior relação lignina/N. Por outro lado, o contato íntimo das raízes com o solo também pode possibilitar uma rápida interação entre os compostos orgânicos transformados e a fase mineral do solo, protegendo-os química e fisicamente da decomposição microbiana (Balesdent e Balabane, 1996; Anderson e Paul, 1984).

Como já foi comentado anteriormente, parte do material decomposto é convertida a compostos orgânicos mais complexos e mais resistentes à decomposição. Martin e Haider (1986) demonstraram a participação de microorganismos nessa transformação, indicando a síntese *in vitro* de melaninas, por fungos melânicos, que estão entre os mais comuns no solo. Pode-se ainda afirmar que o mecanismo de

estabilização tem importância variável conforme o clima, já que os autores se referem à relevância da temperatura para a velocidade de decomposição dos resíduos e estabilização da matéria orgânica do solo, relacionando baixas temperaturas com o favorecimento da estabilização de C no húmus do solo. Entre as condições de solo, talvez deva ser creditado maior destaque à fração argila, sua mineralogia dominante e à estrutura do solo. A quantidade de C estabilizado no húmus é de 2 a 4 vezes maior em solos argilosos em função de mecanismos concomitantes de proteção química e física (Parfitt et al., 1997; Tisdall e Oades, 1982) que serão abordados na próxima seção.

2.1.3. Mecanismos de estabilização da matéria orgânica

Pode-se relacionar o termo proteção ao impedimento, ainda que temporário, do processo de decomposição da molécula orgânica por mecanismos que contribuem para a estabilidade dos compostos orgânicos no solo, retardando sua decomposição (Schnitzer, 1986; Christensen, 1996). Assim, a resistência dos compostos orgânicos à decomposição microbiana relaciona-se a interações com superfícies minerais, à proteção física e à própria recalitrância bioquímica da molécula. Estes mecanismos estabilizam a matéria orgânica e atuam simultaneamente, sendo difícil separar seus efeitos individuais, conforme Christensen (1996).

A matéria orgânica humificada interage com íons metálicos, oxi-hidróxidos, minerais e moléculas orgânicas, que resultarão em estabilidades químicas e biológicas variáveis (Schnitzer, 1986), o que configura a proteção química. Por outro lado, as moléculas podem ainda ser protegidas fisicamente no interior dos agregados, uma vez que os microorganismos não penetram em poros menores que 0,5 μm (Emerson et al., 1986). Além disso, moléculas complexas e de alto peso molecular são mais difíceis de decompor que moléculas mais simples. Paradoxalmente, então, estas substâncias são consideradas o estágio final de estabilização da matéria orgânica, mas ainda assim podem ser decompostas por microorganismos (Andreux, 1996). Por esta razão, os mecanismos de proteção física e química são aparentemente mais importantes do que a recalitrância intrínseca da molécula, conforme Edwards e Bremner (1967) e Andreux (1996).

Recalitrância é uma propriedade de uma molécula relacionada à resistência em ser decomposta, em função de atributos inerentes à sua conformação, presença de grupos funcionais, ou mesmo composição elementar (Alexander, 1994). Segundo

Jastrow e Miller (1997), ela pode ser própria das características do substrato adicionado ou resultar de transformações durante sua decomposição. A lignina e as melaninas estão entre as principais moléculas precursoras da matéria orgânica do solo conhecidas por sua recalcitrância (Martin e Haider, 1986; Christensen, 1996). Os microorganismos são seletivos, degradando primeiramente os compostos mais simples e provocando o aumento da concentração dos compostos mais recalcitrantes no resíduo, embora existam evidências de que mesmo um polímero fenólico como a lignina possa ser degradado. Apesar disso, apenas 15 a 30% da sua massa é liberada como CO₂ num ano e menos de 1% acaba incorporado à biomassa microbiana no processo da sua decomposição (Martin e Haider, 1986).

A matéria orgânica humificada apresenta os compostos orgânicos mais recalcitrantes. Contudo, a sua síntese sofre a influência da textura e mineralogia do solo, além de sua estrutura, de forma que os mecanismos de proteção química e física acabam atuando simultaneamente (Parfitt et al. 1997; Tisdall e Oades, 1982).

As interações das moléculas orgânicas transformadas no solo com sua fração mineral e orgânica compreendem predominantemente reações de superfície, como adsorção física, interações eletrostáticas (troca catiônica e aniônica, e protonação), ligações de hidrogênio (pontes de H e de água), e troca de ligantes e pontes de cátions, podendo ocorrer mais de um mecanismo simultaneamente (Huang e Schnitzer, 1986). Quanto mais fortes forem estas interações, mais protegida estará a molécula e menor será sua taxa de decomposição. A idade média das moléculas está relacionada com sua meia-vida no solo, permitindo-nos inferir sobre o nível de proteção a que está submetida (Martin e Haider, 1986). Anderson e Paul (1984) determinaram a datação do carbono presente em partículas de diferentes classes de tamanho após dispersão por ultrassom. Verificaram que a idade média do C nos solos estudados foi variável entre solos e as classes de tamanho. Alertaram para o risco da dispersão não ser total e a fração silte estar formada também por microagregados estáveis, o que poderia afetar a interpretação dos resultados obtidos num dos solos.

Já foi comentado que a interação entre a matéria orgânica e a fração mineral do solo pode envolver mais de um mecanismo concomitantemente. Como as moléculas da MOH são complexas, podem apresentar propriedades variáveis em função dos grupos funcionais que poderão estar presentes em sua estrutura. Segundo Stevenson (1994), entre os radicais reativos mais importantes estão o carboxílico, alcoólico, fenólico,

estérico, cetônico, quinônico, amídico e amino. Dentre estas propriedades, destacam-se o fato de apresentarem carga variável e ponto de carga zero (PCZ) baixo, fazendo com que predominem cargas negativas na maioria dos solos. Como consequência, a maior parte da CTC dos solos é devida às cargas variáveis da sua matéria orgânica, de acordo com o mesmo autor.

Para Martin e Haider (1986), o tempo de retenção médio de C do húmus nos solos poderá variar de 25 a 30, ou centenas e até milhares de anos. Citam como exemplo andossolos, ricos em alofanos e sabidamente ricos em matéria orgânica, que podem apresentar 4 a 30% de húmus, por induzirem a estabilização da matéria orgânica. Segundo Wada e Aomine (1973), estes solos podem conter húmus com tempo médio de residência de 2000 a 5000 anos. Mas o que instiga a curiosidade são a explicação para este fenômeno ou os mecanismos que produzem este tipo de resultado.

Estudos com culturas puras têm indicado a influência das argilas na eficiência de conversão de C de resíduos em C da biomassa microbiana, indicando que reações de complexação ou adsorção seriam as principais responsáveis pela proteção observada. O aumento da área de superfície específica das partículas proporciona uma condição de maior reatividade, ou seja, aumenta a possibilidade de interações com a matéria orgânica. Assim, solos com maior proporção de argila apresentam maior proteção química (coloidal) que solos menos argilosos (Sorensen, 1975; Martin e Haider, 1986; Baldock e Skjemstad, 2000). Além disso, a mineralogia dominante também exerce sua influência, pelas razões que serão apresentadas na seqüência.

De acordo com Schnitzer (1986), as principais interações entre metais e minerais com a MOH envolvem um ou mais dos seguintes mecanismos: formação de complexos metálicos solúveis em água; formação de complexos ligantes mistos solúveis em água; sorção e dessorção de ácidos húmicos insolúveis e complexos metal-humato; dissolução de minerais; adsorção na superfície externa dos minerais; adsorção nas entrecamadas de argilominerais. Baldock e Skjemstad (2000) concluíram que a capacidade de cada mecanismo em proteger a matéria orgânica da decomposição é finita e determinada pelas propriedades químicas, tamanho e mineralogia dominante dos minerais, bem como do arranjo espacial do espaço poroso no solo. Ressaltaram ainda que a destruição da estrutura das partículas do solo altera a influência da proteção física, podendo mascarar o efeito da estabilização da MO no solo, e ocasionar a redistribuição da matéria orgânica nas superfícies minerais.

Pode-se afirmar que a decomposição depende da movimentação dos microorganismos ou de suas exoenzimas. A proteção física está relacionada justamente ao impedimento do seu acesso à matéria orgânica, o que ocorre quando os poros têm dimensão menor a ponto de limitar sua passagem (Emerson et al., 1986). Por essa razão, o mecanismo decisivo neste tipo de proteção é a gênese de agregados e sua dinâmica.

Um dos pressupostos para a ocorrência do processo de formação dos agregados no solo envolve a aproximação inicial de partículas minerais. Tomando por exemplo um solo caulínico, as partículas do argilomineral em solução se aproximam e se repelem, porque suas cargas estão balanceadas com cátions hidratados atraídos eletrostaticamente. Entretanto, se a aproximação aumentar, esta repulsão é suplantada pela atração por forças de Van der Waals, e ocorre floculação das caulinitas, originando microagregados $< 2\mu\text{m}$. Esta floculação será favorecida pela maior concentração de íons na solução bem como por cátions polivalentes, com raio de hidratação pequeno (Oades, 1989).

Em função do que já foi comentado anteriormente, as interações entre as partículas, seus cátions e os compostos orgânicos presentes, unem esses microagregados em agregados de 2-20 μm . Microagregados desta classe de tamanho ainda podem ser formados pelo envolvimento de microorganismos ou suas colônias por minerais arranjados tangencialmente às mucilagens produzidas extracelularmente (Anderson e Paul, 1984; Oades, 1989), protegendo fisicamente as células, bem como suas mucilagens e gomas. Oades (1989) afirma que a adsorção física aumenta com o tamanho das moléculas orgânicas. Os compostos orgânicos podem ainda modificar a interação entre as argilas, porque alteram a carga do conglomerado. Assim como a caulinita, os óxidos de ferro e alumínio também podem formar microagregados, através de interações eletrostáticas. Os microagregados ($< 250\ \mu\text{m}$) são considerados altamente estáveis devido à intensidade das interações organominerais, composta de vários tipos de agentes ligantes (Tisdall e Oades, 1982).

Os rizocilindros ao redor de raízes de plantas são formados por agregados aglutinados pelas forças de coesão geradas entre as partículas pela retirada de água (Bradfield, 1937), e pela interação com seus exudatos, bem como as mucilagens e gomas produzidas por microorganismos. Estes compostos, aliados à presença de raízes vivas e hifas de fungos, principalmente micorrizas vesículoarbusculares, auxiliam a

união dos microagregados em macroagregados ($>250\mu\text{m}$), segundo Oades e Waters (1991).

Ao contrário dos microagregados, que são altamente estáveis, os macroagregados podem ser estabilizados ou destruídos em função do manejo do solo (Tisdall e Oades 1982; Paladini 1989; Silva 1993; Tisdall, 1996). Essa dependência do manejo se refere não só à necessidade de adições contínuas dessas substâncias cimentantes, que são transitórias no solo, mas também às práticas de revolvimento do solo, que expõem os agregados, reduzindo a proteção física e permitindo a decomposição dos compostos orgânicos, cujas interações com a fase mineral são menos intensas. Para Balesdent et al. (2000), a proteção física da MO se deve a quatro mecanismos principais: sorção da MO a superfícies minerais, seqüestro do C no interior dos agregados, eventos que contribuam para diminuir a população microbiana, e a limitação de O_2 , ou anaerobiose que ocorre no interior dos agregados, e que pode resultar em diminuição das taxas de decomposição, concorrendo assim para a limitação física ao processo de ataque microbiano à MO.

Golchin et al. (1994) propuseram um modelo para descrever o processo de transformações da MO que resultam em microagregados do solo com 20 – 250 μm e no seqüestro de C, representado na FIGURA 2. Por esse modelo, a matéria orgânica particulada fresca liberada no solo, que pode ser representada por um resíduo de raiz, é colonizada por microorganismos decompositores e começa a adsorver partículas minerais, ficando encapsulada e formando um agregado estável. A matéria orgânica em seu interior, fica então protegida da decomposição rápida. Entretanto, os microorganismos encapsulados com a mesma no agregado vão consumindo os compostos mais simples, como proteínas e carboidratos, e produzindo mucilagens e exudatos, que contribuem para a estabilização do mesmo. À medida que restam compostos mais resistentes à decomposição da matéria orgânica no interior do agregado, ela se processa mais lentamente, com menor produção de exudatos e conseqüente diminuição da estabilidade do agregado. Esta estabilidade começará a ser afetada a tal ponto que o material interno pode ser liberado, agora mais recalcitrante, denominado matéria orgânica particulada recalcitrante. Também ocorre a liberação de partículas minerais e complexos organominerais, que poderão novamente se ligar e recobrir outra partícula de MO particulada fresca.

Assim, essa complexidade dos processos que envolvem a dinâmica da matéria orgânica no solo, como será abordado na próxima seção, pode ser organizada pelo uso de modelos matemáticos.

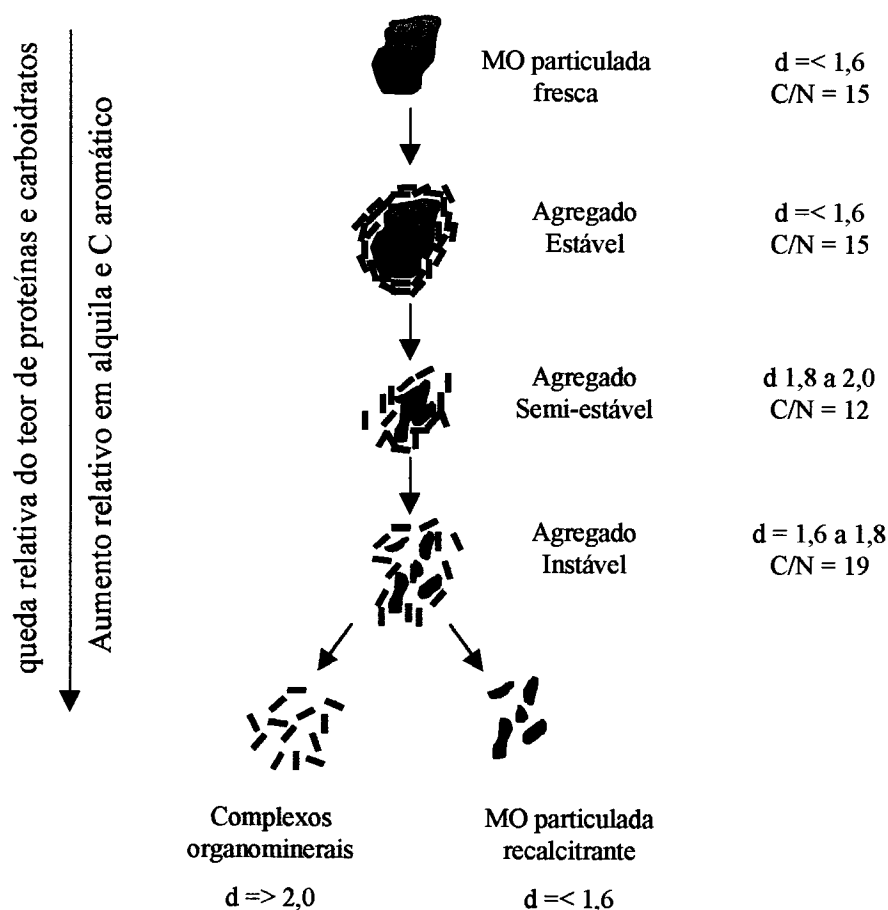


FIGURA 2. Modelo conceitual do processo de formação e decomposição de microagregados e sequestro de C proposto por Golchin et al. (1994).

2.1.4. Modelos matemáticos e a descrição da dinâmica de C no solo

Pode-se considerar que os modelos consistem numa representação da realidade, ainda que simplificada (Addiscott, 1993). O número de compartimentos com que trabalham pode variar. Alguns modelos consideram a MO em um único compartimento, e ignoram sua dinâmica intra-anual. Um exemplo clássico deste tipo de modelo é o proposto inicialmente por Henin e Dupuis (1945) e aplicado por Woodruff (1949) para o nitrogênio. Ele foi adaptado posteriormente e usado para o carbono por Dalal e Mayer (1986), Bayer (1996) e Andriullo et al. (1999). Outros modelos, por sua vez, apresentam maior complexidade, e consideram a matéria orgânica distribuída dentro de vários compartimentos, considerando sua dinâmica em intervalos de tempo menores que um ano, como é o caso do modelo Century, proposto por Parton et al. (1987).

A vantagem dos modelos unicompartmentais reside na sua maior simplicidade, uma vez que consideram a matéria orgânica como sendo uniforme no solo. Esta simplificação facilita sua aplicação e a verificação das predições, levando à obtenção de taxas de mineralização médias e, conseqüentemente, taxas de perda ou ganho de CO e NT específicas para cada local. A facilidade na obtenção dos dados e no cálculo das estimativas também podem ser elencados como vantagens no uso deste tipo de modelo. Por outro lado, a mesma simplificação gerada por considerar essa MO uniforme, constitui-se numa limitação, pois sabe-se que há diversos processos ocorrendo simultaneamente e há compostos com tempos variáveis de permanência no solo, em função dos mecanismos de estabilização já comentados (Parton et al. 1987).

O hábito de aplicar modelos para testar hipóteses formuladas por cientistas acompanhou a rápida evolução da capacidade e velocidade de trabalho dos computadores e de sua relativa disponibilidade. Conseqüentemente, o uso indiscriminado de modelos tem gerado críticas, (Philip, 1972; Sinclair e Seligman, 1996; Montheit, 1996), mas também defesas (Boote et al., 1996 e Addiscott, 1993).

Montheit (1996) questiona os limites a partir dos quais a modelagem deixa de ser um processo científico, por incluir arbitrariamente relações empíricas nos modelos em detrimento de bases mecanísticas. Para arrematar suas críticas, os acusa de terem contribuído muito pouco para a real solução dos problemas a que se propõem. Por outro lado, Boote et al. (1996) consideraram a modelagem uma ferramenta potencialmente valiosa para a pesquisa, e apoio a tomadas de decisão, inclusive com redução de custos.

Para Addiscott (1993) existem pontos específicos na ciência do solo onde o desenvolvimento de modelos poderia contribuir para o entendimento dos processos e proposição de soluções de problemas no futuro. Entre eles, ressaltam-se a estrutura, gênese, e erosão do solo, plantas invasoras e patógenos, pH do solo, difusão de ions, suprimento de nutrientes às plantas, adsorção iônica, troca e especiação iônica, movimento de água no solo e, finalmente, a matéria orgânica. Destacou ainda que a modelagem tem evoluído, e os modelistas têm buscado modelos o mais mecanísticos possível, validando-os para a escala e o projeto a que se propuseram.

Certamente, com o tempo, a evolução dos modelos fará com que sejam melhorados e parte dessas críticas terão sido uma contribuição valiosa no passado. Afinal, conforme Sinclair e Seligman (1996), a elaboração inteligente, consistente e transparente das idéias, assim como a observação, experimentação e experiência, não deverão ser substituídas pelo uso de modelos, mas apoiadas por eles.

2.1.5. Modelo Century

O modelo Century tem sido amplamente usado, mostrando-se eficiente em estudos de dinâmica de C, no sistema solo-planta-atmosfera. Ele foi desenvolvido em solos sob pastagens naturais, e, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas, passando a incluir o efeito do preparo de solo em algumas taxas de decomposição. Versões mais recentes do modelo incluem perdas de C por lixiviação, retiradas por colheitas e efeito de cultivo (Kelly et al., 1997; Metherell et al., 1994). Permite a modelagem a campo e em microcosmos, da dinâmica de C, N, P, S, água, crescimento e produção de plantas em diversos biomas, tipos de solo e clima.

Silveira et al. (2000) testaram o modelo para simular os efeitos do uso de solos nas condições da Bacia do Rio Piracicaba, em São Paulo. Compararam simulações para os sistemas floresta/cana-de-açúcar por 12 anos, floresta/pastagem por 20 anos/cana-de-açúcar por 20 anos, floresta/cana-de-açúcar por 50 anos e concluíram que o modelo simulou com sucesso a produção primária das plantas e os estoques de C, entretanto falhou em simular os padrões de distribuição da produção de cana-de-açúcar ao longo do seu ciclo de replantio.

É difícil separar e quantificar os efeitos dos diferentes mecanismos de estabilização do C nos solos. Ao ignorar esses mecanismos, os modelos usam o artifício de dividir a MO em diferentes compartimentos, com tempos variáveis de permanência no solo, definindo a dinâmica em função dos fluxos entre eles (Parton et al., 1987), como será apresentado a seguir. Segundo Scholes et al. (1997), esses modelos multicompartimentais são dinâmicos, mutuamente dependentes e controlados por fatores edáficos, climáticos e antrópicos. No âmbito geral, isto significa que as taxas de adição e decomposição podem variar entre os compartimentos, assim como sua quantidade.

2.1.5.1. Compartimentos e fluxos no modelo

No modelo Century, o C é dividido em compartimentos segundo o tempo médio que transcorre até que o C orgânico do compartimento seja decomposto (Parton et al. 1987). Isto permite a diferenciação do comportamento dessas substâncias orgânicas que têm graus de complexidade variados e podem estar sob proteção física ou coloidal. Esse tempo pode ser de um mês, em alguns compartimentos, ou superior a 1000 anos, em

outros. Outro detalhe importante refere-se à dinâmica das transformações da MO, a qual sempre é tratada pelo modelo como um processo de decomposição microbiana, com perda de massa pelo sistema.

No submodelo do C, o ciclo deste elemento é constituído pelo sistema cobertura vegetal – solo que está dividido em oito compartimentos principais (FIGURA 3). Os resíduos de plantas adicionados ao solo são repartidos segundo a taxa de lignina / nitrogênio (L/N), em dois tipos de compartimentos: estrutural e metabólico, que correspondem às variáveis de saída *STRUCC(1)*, *METABC(1)*, de superfície, ou *STRUCC(2)* e *METABC(2)*, do solo. O compartimento metabólico, tem pronta degradação. Se for subsuperficial, será rapidamente incorporado ao compartimento de C ativo (COA ou *SOMIC(2)*). E quando for superficial, sua incorporação se dará no C microbiano superficial ou *SOMIC(1)*. Considera-se a permanência de seus compostos variável entre 0,1 e 1 ano. O C estrutural, por sua vez, tem decomposição mais lenta, com tempo de permanência variável de 1 a 5 anos (Leal, 1996). O modelo ainda assume que toda lignina ou *STRLIG(*)* é decomposta para C lento (COL) acompanhada de liberação de CO₂. O restante é incorporado ao COA, também liberando CO₂ para a atmosfera pela respiração microbiana. Segundo Paustian et al. (1994), o efeito da qualidade da liteira sobre os compartimentos de C é complexo, em função do conteúdo de lignina, N ou de ambos. Há, portanto, uma relação estreita entre o conteúdo de lignina da cultura e COL, devido ao fluxo do modelo.

O compartimento C ativo do solo (COA ou *SOMIC(2)*), é composto basicamente pela biomassa microbiana, de plantas e seus subprodutos ou exudatos, sendo de fácil degradação. Compreende de 4 a 5% do total do C, e é importante porque comanda a degradação de C no solo, devido ao seu curto período de permanência, que é de 3 anos, no máximo. O C lento (COL ou *SOM2C*) apresenta compostos de decomposição mais difícil que o anterior, em parte porque suas moléculas podem estar fisicamente protegidas ou interagindo com os minerais do solo. Considera-se que permaneça no solo, em média, de 20 a 50 anos. E o C passivo (COP ou *SOM3C*) é aquela porção formada por compostos quimicamente recalcitrantes e que podem estar física ou coloidalmente protegidos. Corresponde a aproximadamente 30 a 50 % do COT, segundo o padrão do modelo, com o tempo de permanência entre 400 e 2000 anos (Parton et al., 1987; Leal, 1996).

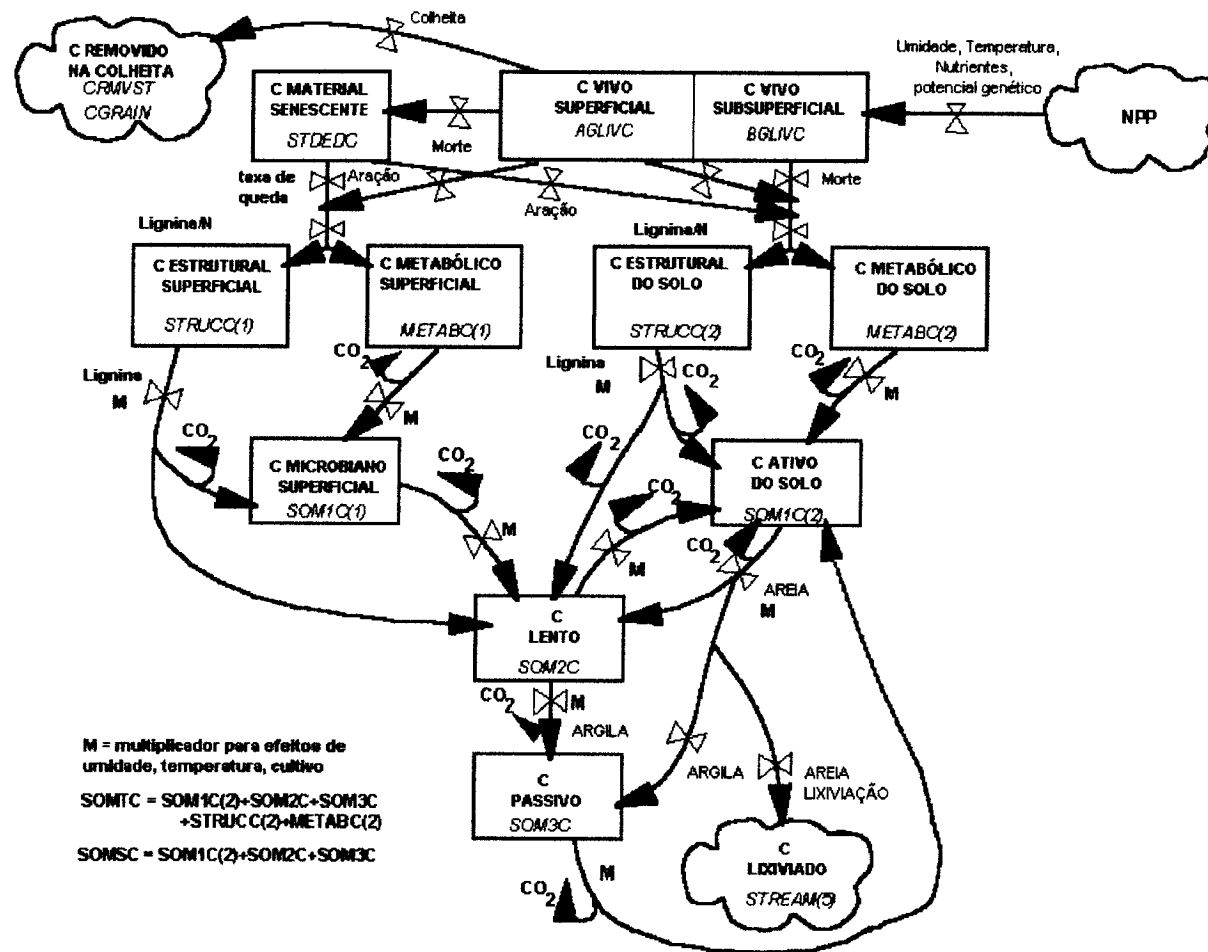


FIGURA 3. Diagrama de fluxo dos compartimentos de C segundo o Modelo Century (Metherell, 1994).

Numa pastagem nativa, a proteção do C ou estabilidade é maior por causa da interação com a fase mineral, e pela maior agregação, que conferem proteção ao ataque de decompositores, considerando-se adição semelhante de C. Já em condição de lavoura sob preparo convencional, a destruição dos agregados associada ao aumento da quantidade de C adicionada na subsuperfície, e à criação de um ambiente físico-químico e microclima favorável à decomposição microbiana, principalmente quanto à temperatura, água no solo, e aeração, propiciaria o ataque de parte deste C estável (Balesdent et al., 2000). Assim, a definição conceitual de COP poderia ser restringida àquela porção do COT cuja quantidade não se altera significativamente quando se introduzem mudanças de manejo. Por este conceito, o tempo de permanência não deve ser alterado, porém, acredita-se que o tamanho do compartimento deva ser menor que o padrão proposto originalmente no modelo. Os dados apresentados por Balesdent et al. (1988) reforçam esta proposição. Neste trabalho, foi avaliada a influência da alteração do manejo sob campo nativo com o predomínio de plantas C4 para cultivo com plantas C3 sobre os teores totais de C do solo após 98 anos. Destacam-se dois manejos: trigo sob preparo convencional e pastagem cultivada com a gramínea capim-rabo-de-gato (*Phleum pratense*) e a remoção da forragem. Neste caso, pôde-se notar que a fração de C estável remanescente da pradaria foi maior no sistema de pastagem que no de lavoura, indicando que parte desta proteção estava relacionada ao não revolvimento do solo pela aração e/ou à proteção proporcionada pela maior adição e agregação do *Phleum*. Desta forma, pode-se afirmar que o C estava estável, mas não era estável, pois seria perdido caso houvesse revolvimento do solo. Na hipótese do uso dos valores deste experimento para uma simulação com o Century, seria mais apropriado que o COP correspondesse ao valor observado na situação de lavoura, uma vez que o C consumido não era estável.

Como já foi comentado, o manejo influencia principalmente a proteção física da matéria orgânica. Se uma quantidade da MO pode ser diminuída ou aumentada pelo manejo, então, ela deve ser alocada no compartimento lento (COL). Por esta razão, poderia ser importante definir um COP relativo a manejo e não só em função de metodologias relacionadas a datações com carbono radioativo em sistemas naturais.

A atividade dos microorganismos sobre o COT é afetada pelo ambiente no solo (umidade, temperatura, aerobiose, disponibilidade de nutrientes), o que altera a taxa de decomposição do C. De acordo com Parton et al. (1987), o modelo incorpora este efeito no processo de modelagem pela equação:

$$dC_i/dt = K_i \cdot M_d \cdot T_d \cdot C_i \quad [1]$$

onde:

dC_i/dt = variação semanal da quantidade de C no compartimento i;

K_i = taxa de decomposição semanal máxima do compartimento i;

M_d = o efeito da razão entre a precipitação total mensal e a evapotranspiração potencial na decomposição;

T_d = efeito da temperatura média mensal do solo na decomposição.

C_i = quantidade inicial de carbono do compartimento i;

Três taxas de decomposição máxima semanais do C dos compartimentos usados no modelo são variáveis (Metherell et al., 1994). As taxas *DEC1(1)*, do C estrutural superficial ou *STRUCC(1)*, e *DEC1(2)*, do C estrutural do solo ou *STRUCC(2)*, variam inversamente com o teor de lignina do C estrutural correspondente. E a taxa *DEC3(2)*, do *SOMIC(2)*, varia diretamente com os teores de areia, que também afetam a eficiência de estabilização da MO como COL, através da equação $f(A)$ descrita a seguir:

$$f(A) = 0,17 - 0,68 A \quad [2]$$

onde A é o teor de areia no solo.

Quando é feito o preparo de solo, o modelo considera uma nova relação entre as adições de resíduo na superfície e no solo. As taxas *DEC3(1)*, referentes ao COA, *DEC5* (ao COL) e *DEC4* (ao COP) também aumentam, porque o modelo inclui um coeficiente multiplicativo (M) na equação [1], acelerando sua decomposição. Em contrapartida, as taxas *DEC2(1)* (relativa ao C metabólico superficial) e *DEC2(2)* (ao C metabólico do solo) são mantidas constantes pelo modelo.

É importante notar que, no processo de recuperação de solos degradados pela redução do preparo de solo e maior adição de fitomassa, as quantidades de COT (Bayer, 1996) e a agregação (Silva, 1993) aumentam, assim como ocorre em sistemas naturais durante a pedogênese. Ao mesmo tempo, a maior agregação pode resultar em maior proteção física e coloidal da MO no interior destes agregados (Feller e Beare, 1997 e Hayes e Himes, 1986). Segundo Smith et al. (1997), o modelo Century v.4.0 apresentou dificuldades para simular o aumento contínuo de C produzido pelo manejo

adotado num teste comparativo entre nove modelos. Estas alterações decorrentes da recuperação de solos degradados podem aumentar o COL.

Observando a FIGURA 3, nota-se que isso pode ocorrer por causa do aumento das entradas no COL, ou diminuição das saídas ou perdas do mesmo. Um modo de influir no COL no modelo pode ser via aumento da taxa de decomposição do COA ou *DEC3(2)*, e da eficiência de conversão do mesmo em COL regulada pela equação [2] ou $f(A)$, reduzindo relativamente a liberação de CO_2 , alterando-se o componente de adição do compartimento COL. Na decomposição, por outro lado, conseguiria-se este resultado pela redução da taxa de decomposição do COL (*DEC5*) que contribui para esse aumento no COL. Portanto, para que o modelo represente a realidade de solos em processo de recuperação, possivelmente devam ser incluídos coeficientes em um ou mais destes passos. Analisando o modelo Century como uma representação teórica dos processos envolvidos com a dinâmica da MO no solo, percebe-se que a influência do processo de agregação do solo não foi incluída, embora seja importante. Então, é possível que este(s) coeficiente(s) deva(m) estar relacionado(s) com agregação. Apesar dela ser parcialmente influenciada pela textura do solo, também é afetada pelo manejo e certamente vai se relacionar à proteção física da MO.

Há também outro ponto em que o modelo pode ser melhorado: considerando a mineralogia dominante. Nos processos de estabilização da MO, o tipo de mineral dominante na matriz do solo poderá afetar o tamanho dos compartimentos COL e COP. Simulações realizadas por Parfitt et al. (1997) com solos ricos em alofanas e ferrihidrita, cuja alta área superficial específica (ASE) e elevada reatividade com substâncias orgânicas determina uma proteção à decomposição microbiana, sugerem a necessidade de um fator relativo ao tipo de argila ou a ASE para que o modelo expresse melhor a realidade em Andossolos.

Resumindo, o modelo apresenta alguns pontos que se mostram frágeis sob o ponto de vista do conhecimento dos processos envolvidos com a dinâmica da MO, em situações especiais, como recuperação de solos degradados e solos com elevada ASE. Alguns trabalhos têm proposto a alteração de coeficientes como o efeito da temperatura (Paustian et al., 1993), a magnitude do COP (Veroney e Angers, 1995) e a inclusão de uma variável modificadora do teor de argila, pela introdução da ASE (Parfitt et al., 1997), objetivando o melhor ajuste dos resultados de simulação com o Century aos dados experimentais.

2.1.5.2. Métodos para determinar os compartimentos

Foi salientado que a separação entre os compartimentos é conceitual, relacionada ao tempo médio de residência dos compostos no solo, e portanto independentemente do fracionamento químico ou físico da matéria orgânica (Paustian et al., 1992), mas associada ao grau de proteção a que está submetida. A definição de uma metodologia para quantificar e separar esses compartimentos assume grande importância, pois calculá-los via modelo poderia induzir a erros, já que ele não contempla causas de interação e proteção à matéria orgânica, que são importantes para as situações especiais comentadas no item anterior. É provável que os métodos analíticos também sejam falhos, mas poderiam melhorar a separação dos compartimentos por incluir, por exemplo, diferenças mineralógicas ou de graus de agregação entre os solos, atualmente não contempladas pelo modelo, e cuja importância já foi discutida previamente.

Vários métodos têm sido utilizados para fracionar a matéria orgânica do solo. Alguns serão mais adequados que outros para considerar os efeitos dos mecanismos de proteção. Estão baseados em fracionamento químico, físico e combinação de ambos.

Há métodos físicos que se relacionam com isótopos de carbono. Um deles considera o enriquecimento do ^{13}C em relação a ^{12}C ($\delta^{13}\text{C}$), e é muito usado para avaliar a contribuição de plantas C4 na formação da matéria orgânica do solo, baseando-se no fato de que estas discriminam o ^{13}C diferentemente de plantas com rota metabólica C3. Gregorich et al. (1995), e Balesdent e Balabane (1996) usaram este tipo de técnica em seus trabalhos. Entretanto, seriam de menor utilidade para o propósito de separar compartimentos, quando não há mudança de vegetação com rotas metabólicas diferentes. Como o isótopo 13 é muito estável, não seria adequado para datações e rastreamentos do destino do C aos diferentes compartimentos, que são realizadas com análises do isótopo ^{14}C , menos estável (Oades, 1989). Van Gestel et al. (1991) usaram incubações de solos adicionados de material vegetal marcado com ^{14}C e rastrearam este carbono na biomassa microbiana. Já Christensen e Sorrensen (1985) usaram este tipo de análise combinada a um fracionamento físico de partículas após uma incubação de 5 anos usando celulose, hemicelulose e palha de cevada marcadas com ^{14}C . Relacionaram a fração argila com a matéria orgânica de ciclagem a médio prazo (COL), enquanto que a fração tamanho silte estaria ligada à ciclagem de longo prazo (COP). É possível que problemas de dispersão com o ultrassom tenham contribuído para esse resultado. Se a dispersão não é completa, são obtidos agregados de tamanho compatível com a fração

silte além das partículas simples. Nestes, a matéria orgânica está mais estável, protegida no interior dos agregados. Corroborando para esta hipótese o fato de que este efeito não foi observado no solo mais arenoso.

Um método promissor para quantificar os diferentes compartimentos baseia-se na fotooxidação da matéria orgânica com uso de radiação ultravioleta de alta energia (Skjemstad et al., 1993). Os autores o descrevem como adequado para separação do carbono protegido fisicamente, já que produz o ataque da matéria orgânica da superfície dos agregados. É possível também associar sua aplicação em frações de agregados tamanho silte e argila, por exemplo. Neste caso, envolveria a separação das classes de tamanho após dispersão, submetendo as alíquotas das suspensões ao tratamento com radiação UV. Após são realizadas as análises do C que não foi decomposto pela fotooxidação.

Dentre os métodos químicos, aqueles que avaliam de forma quantitativa são eminentemente oxidativos. A determinação do C total (COT) não fraciona o carbono, mas ainda assim pode ser útil para obter-se a soma dos compartimentos do solo (COA, COL e COP). Pode ser feita por métodos de combustão seca e úmida (Tabatabai, 1996). Nesse último grupo, o método usado tradicionalmente para quantificar o carbono orgânico total do solo baseia-se na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio e ácido sulfúrico, adicionando calor externo, e titulando o excesso de dicromato com sulfato de ferro, como a adaptação descrita por Tedesco et al. (1995). Segundo Blair et al. (1995), apresenta problemas de subestimação dos valores, em solos com maior proporção de C protegido, pois a combustão não é completa. Outro problema de determinação pode ocorrer quando a amostra apresentar altos teores de Cl⁻, Fe²⁺ e/ou Mn²⁺. A presença de cloreto em solos afetados por sais e de Fe reduzido induz a erro de superestimação, e o Mn, de subestimação, já que o dióxido de Mn vai competir com o dicromato pelas substâncias oxidáveis (Tabatabai, 1996).

Dependendo do oxidante escolhido, o grau de oxidação do C é variável. Oxidantes com menor potencial de oxidação atacariam inicialmente a matéria orgânica menos protegida. Assim, a combinação de diferentes oxidantes em seqüência poderia ser utilizada para fracionar o C submetido a diferentes graus de proteção. Há o método preconizado por Shang e Tiessen (1997), que consiste na adição de KMnO₄ 333 mM a amostras contendo 15 mg de C em tubos de centrífuga, e agitados por uma hora a 12 rpm num agitador giratório vertical de 15 cm de raio. A seguir, são centrifugados a 2000

rpm (815 g), fazendo-se a determinação do sobrenadante diluído em espectrofotômetro a 565 nm. Assim, o método separa duas frações: uma lábil, que foi decomposta pelo permanganato de potássio, e uma não-lábil. Blair et al. (1995) também usaram este método para obter o carbono lábil e definiram um Índice de Manejo de Carbono (CMI). Este foi calculado a partir de um Índice de Labilidade do Carbono (LI) e um Índice de Compartimento de Carbono (CPI), baseado nas mudanças na proporção de carbono lábil no solo em relação a um solo preservado usado como referência. Afirmaram que o fracionamento auxiliado pelo CPI permite determinar o estado e a taxa de alteração do C de solos agrícolas e sob manejo natural. Este método apresenta problemas devido à instabilidade do KMnO_4 , que pode ser decomposto na presença de luz e MnO_2 , exigindo cuidados na sua preparação e uso.

Motavalli et al. (1994) compararam métodos de laboratório e simulações pelo modelo Century para estimar os compartimentos de solos de florestas tropicais, com variações na mineralogia dominante e no teor de argila. Os solos foram incubados por 341 dias e foram apresentados os resultados da determinação de C liberado como CO_2 , C solúvel, C na biomassa e C da fração leve, separada por diferença de densidade. A soma do C solúvel e da biomassa foi considerada COA, e a fração leve estimou o COL. Observaram que o COA foi subestimado pelo modelo em comparação aos valores da regressão dos dados obtidos com incubação. Também as estimativas do COL pelo modelo foram maiores que as determinadas, indicando que este compartimento deva ser formado por outras porções além da fração leve da matéria orgânica. Salientaram o problema do uso de incubações, em que um ano representa um tempo muito curto para se obter resultados satisfatórios.

A separação por tamanho de partículas ou fracionamento físico foi apresentada em detalhe por Christensen (1992). As metodologias invariavelmente preconizam uma etapa de dispersão de partículas, que pode ser feita com ultrassom, e sua separação posterior com líquidos de alta densidade, sedimentação ou peneiramento. Na seqüência, são feitas análises do C e quantificados os estoques de C a partir da massa de cada fração. Dependendo do caso, a energia de dispersão deverá ser tal que não rompa microagregados, pois aqui o objetivo seria avaliar a MO protegida. Ocorre que numa dada fração, silte por exemplo, haverá compostos relacionados a mais de um tipo de compartimento, já que deverão estar menos protegidos na porção externa do agregado do que no seu interior. Além disso, as ligações entre microagregados componentes de

um macroagregado certamente são mais fracas do que as das partículas que formam cada microagregado, como já foi comentado. Conclui-se, portanto que a possibilidade de combinar o fracionamento físico com o fracionamento químico seqüencial parece a alternativa mais viável para se chegar a uma diferenciação entre COP e COL, descontando-se COA baseado num valor atribuído na bibliografia (4-5%) ou por dados de biomassa microbiana.

Pelo que foi exposto, pode-se depreender que a associação de métodos de fracionamento físicos e químicos oxidativos devem ter uma maior relação com os mecanismos de proteção à decomposição e, portanto, merecem atenção. Poderemos obter sucesso utilizando um método que considere as diferenças de estabilidade da matéria orgânica localizada em micro e macroagregados. Além disso, deve-se ter em mente que há uma parte da matéria orgânica que é mais estável dentro dos macroagregados, uma vez que são conjuntos de microagregados.

2.1.5.3. Parametrização e validação do modelo

O uso de um modelo exige o cumprimento de várias etapas. Entre elas encontra-se sua parametrização e validação. Na etapa de parametrização é feito um ajuste dos parâmetros a serem usados pelo modelo na fase de simulação propriamente dita (Boote et al., 1996; Leal, 1996). Ela poderá ser feita pela determinação direta das informações necessárias, como por exemplo, uma análise da distribuição de tamanho de partículas, ou, em certos casos, mediante cálculo realizado pelo próprio modelo. O Century permite parametrizar alguns parâmetros, mas não todos. Entre aqueles indispensáveis de fornecer ao modelo estão a quantidade de areia, silte e argila, dados médios mensais no ano de temperatura máxima e mínima e de precipitação pluviométrica. Nesta etapa de parametrização, é feita uma simulação com o manejo definido e fixo por um tempo longo. No caso do Century, os resultados obtidos para as diferentes variáveis de saída do modelo são organizados posteriormente por um programa chamado GETORG, que cria um arquivo de base. É este arquivo que será usado para as simulações seguintes. Este trabalho deve ser realizado para cada simulação, caso haja mudanças do sítio de estudo na condição inicial, tais como distinções de solo ou clima.

A etapa de validação deve ser realizada para verificar se o modelo simula resultados coerentes com a realidade. É importante para isto que sejam usados dados experimentais diversos daqueles empregados no desenvolvimento do modelo (Leal,

1996). Isto permite confirmar se o modelo funciona bem para dados totalmente independentes daqueles que contribuíram para o sua geração. Assim, para Boote et al. (1996), o processo deveria ser de invalidação. Poderia-se indicar apenas a impossibilidade de se generalizarem os resultados obtidos com o modelo, ou de sua aplicabilidade diante de outras situações e nunca o contrário. Também Sinclair e Seligman (1996) concordam com esta proposição, afirmando que não só os modelos são freqüentemente um conjunto de hipóteses e não uma hipótese H_0 da estatística clássica, como também os dados usados para esta etapa concentram erros experimentais e de observação. Apesar disso, Addiscott (1993) propôs tratamentos estatísticos que permitem avaliar e separar modelos mais adequados, e esta metodologia foi testada com sucesso por Smith et al. (1997). Neste último trabalho, o Century foi um dos modelos que se destacaram na simulação de diversas situações de manejo, solos e clima.

3. HIPÓTESES

A partir da contextualização da dinâmica do C em agroecossistemas, feita no capítulo anterior, formularam-se as seguintes hipóteses:

1. Solos argilosos e oxidícos apresentam maior proporção de COP.
2. A redução do preparo em solos degradados e o aumento das quantidade de C adicionado tende aumentar o teor de COT, predominantemente como COL, por causa do aumento da eficiência de conversão de COA em COL, e diminuição da taxa de decomposição do COA (*DEC5*), devido ao processo de agregação que ocorre, elevando o nível de proteção da matéria orgânica.

4. OBJETIVOS

E os seguintes objetivos foram estipulados:

1. Verificar quais atributos dos solos relacionados com a proteção à decomposição definem a quantidade e a proporção do COP.
2. Verificar a necessidade de inclusão de alteração de parâmetros do modelo em função de diferenças nos atributos de solo que alterem os níveis de proteção do carbono orgânico do solo.

A partir destes objetivos, foram propostos dois estudos. No primeiro, intitulado “Carbono Orgânico Passivo (COP) obtido pelo modelo Century e sua relação com alguns atributos de solos do Rio Grande do Sul”, procurou-se testar a primeira hipótese. Já no segundo, cujo título é “Uso do modelo Century v. 4.0 para a interpretação da dinâmica de C e N em experimentos de manejo de solos de longa duração”, testou-se a segunda hipótese.

5. ESTUDO 1 – CARBONO ORGÂNICO PASSIVO (COP) OBTIDO PELO MODELO CENTURY E SUA RELAÇÃO COM ALGUNS ATRIBUTOS DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL

5.1. INTRODUÇÃO

A necessidade de compreensão dos mecanismos envolvidos com a ciclagem de carbono no sistema solo deve-se à prioridade de manutenção da capacidade produtiva do mesmo, bem como de seu papel no seqüestro do CO₂ atmosférico fixado na biomassa das plantas. Por esta razão, a modelagem da dinâmica da matéria orgânica pode se constituir numa ferramenta útil para definir estratégias de manejo visando a garantia do desempenho destas funções do solo. Dentre os principais modelos atualmente em uso, encontra-se o Century.

O modelo Century v.4.0 (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994) foi desenvolvido para simular a dinâmica da matéria orgânica e tem sido largamente testado e aplicado para diversos biomas (Smith et al., 1997). Apresenta submodelos, dentre eles, o de carbono orgânico, composto por três compartimentos principais no solo: Ativo (COA), Lento (COL) e Passivo (COP), divididos segundo o período de ciclagem (Parton et al., 1987). O COA é de fácil degradação, sendo constituído basicamente pela biomassa de microorganismos e plantas e seus exudatos. Já o COL é formado por compostos de decomposição mais difícil, e protegidos parcialmente da decomposição microbiana por interação com a fase mineral ou no interior de agregados do solo, permanecendo de 20 a 50 anos. E o COP é formado por compostos recalcitrantes e que podem estar física ou coloidalmente protegidos da decomposição, apresentando tempo de permanência no solo superior a 400 anos. Destes, o COP seria afetado pelo manejo de forma muito lenta, em função de apresentar a menor taxa de decomposição de todos.

Apesar de amplamente testado, como já foi comentado, também têm sido sugeridas alterações visando melhorar seu desempenho nos diversos tipos de solo, clima e biomas (Paustian et al.1992; Parfitt et al., 1997), especialmente em situações diversas daquelas para as quais foi inicialmente desenvolvido. Em função dessas características do Century, decidiu-se testá-lo para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, usando-o como ferramenta para fazer a caracterização de solos sob manejo natural.

O objetivo principal foi definir a magnitude do compartimento passivo (COP) para diferentes solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com os atributos de solo avaliados.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Caracterização dos sítios de amostragem

Usaram-se dez solos do Rio Grande do Sul sob manejo natural com campo nativo, representativos das regiões da Depressão Central, Planalto Médio, Missões e Escudo Sul-Riograndense, conforme pode ser observado na FIGURA 4, e cujos principais atributos físicos, químicos e mineralógicos encontram-se na TABELA 1. A amostragem dos solos foi feita na camada 0 - 20 cm do horizonte A de solos sob Campo Nativo. A escolha dos solos foi baseada na premência de dispor de mineralogia dominante e classe textural variadas, bem como sua representatividade em termos de importância agrícola regional. Desta forma, obteriam-se diferentes níveis de interação com a matéria orgânica, e a possibilidade de obter diferenciais de proteção à decomposição, e conteúdo de carbono orgânico em solos importantes para a agricultura do Estado. Para tanto, usou-se como base o Mapa de Solos do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973).

Além dos atributos inerentes ao solo, seu manejo também contribui para definir o nível de proteção à atividade decompositora dos microorganismos pelo grau de revolvimento aplicado ao solo e quantidade de C adicionada periodicamente. A MOS ainda está associada à disponibilidade de nitrogênio e, conseqüentemente, à capacidade de adição de carbono orgânico ao solo pelas plantas. Portanto, a definição do manejo natural para este estudo deveu-se a esta corresponder à vegetação clímax, com os maiores conteúdos esperados de COT, e sob mínima influência da atividade humana.

Segundo EMBRAPA (1999), a classificação dos solos é a seguinte: VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico (VEo, unidade de mapeamento Aceguá); PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico vértico (SXd, Bagé); ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (PVd1, São Pedro); ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (PVd2, São Jerônimo); LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd1, Cruz Alta); LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd2, Passo Fundo); LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (LVdf, Santo Ângelo); LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférico típico (LVaf, Erexim); e LATOSSOLO BRUNO Aluminífero câmbico (LBa, Vacaria).

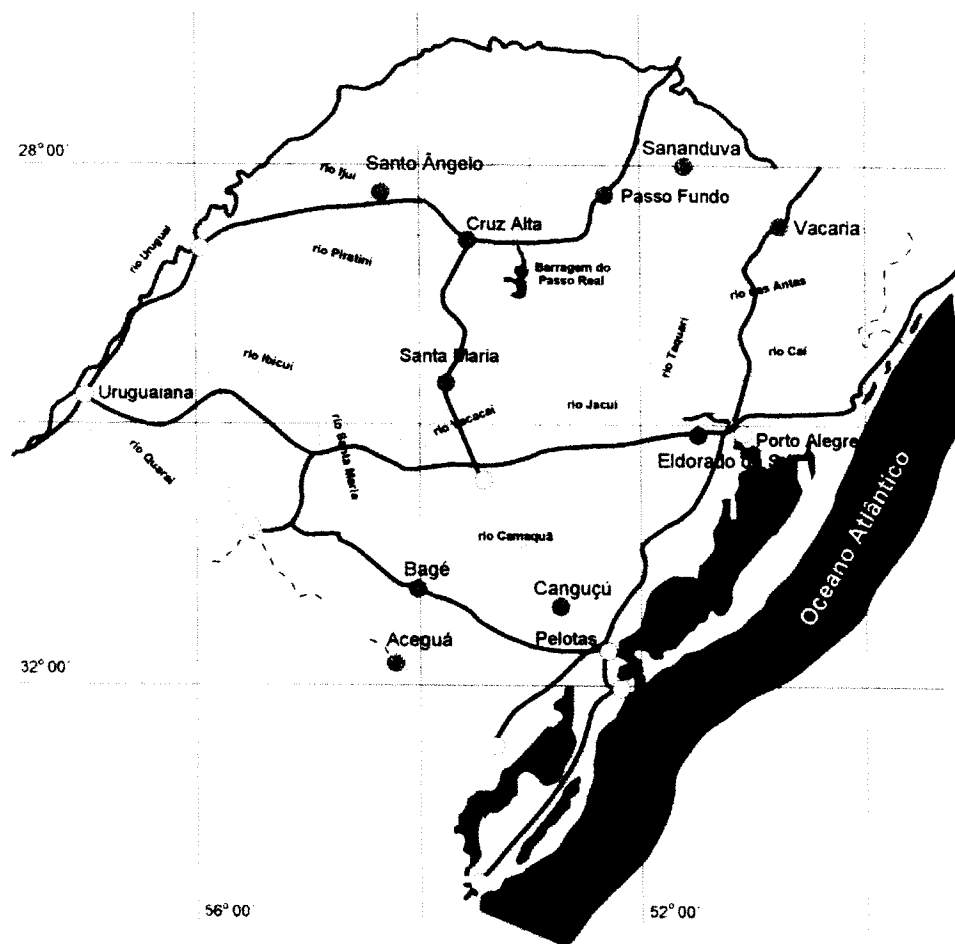


FIGURA 4. Localização dos municípios de amostragem dos solos no Estado do Rio Grande do Sul.

Os dados climáticos associados aos solos, e aplicados no modelo Century para a caracterização dos sítios, obtidos em Moreno (1961), podem ser vistos na TABELA 2. Nota-se que as temperaturas médias anuais oscilam entre $16,2^{\circ}\text{C}$ em Vacaria e $19,7^{\circ}\text{C}$, em Santo Ângelo. O município mais frio é Vacaria, com média das mínimas de $10,1^{\circ}\text{C}$ e das máximas

TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos da camada arável (0-20 cm) dos solos usados nas simulações de manejo natural.

Classif. Sigla ¹	Unidade de Mapeamento	Município de Amostragem	Material de origem	Mineralogia Dominante ² sigla	Granulometria ³				Densidade do Solo ⁴ kg.dm ⁻³	COT ⁵ Mg .ha ⁻¹	Óxidos de Ferro	
					Casca-lho	Areia	Silte	Argila			Oxalato ⁵ dag.Kg ⁻¹	DCB ⁶ dag.Kg ⁻¹
LVaf	Erexim	Sananduva	Basalto	Kt + Feox	0,0	1,2	38,3	60,5	0,985	69,86	0,11	8,88
LVdf	Santo Ângelo	Santo Ângelo	Basalto	Kt + Feox	0,0	5,5	23,6	71,0	1,275	54,50	0,12	9,68
LBa	Vacaria	Vacaria	Basalto	Kt + Feox	0,1	3,6	25,0	71,3	1,110	87,63	0,14	7,29
LVd1	Cruz Alta	Cruz Alta	Arenito	Kt	0,0	62,6	11,7	25,7	1,460	35,41	0,06	1,34
LVd2	Passo Fundo	Passo Fundo	Basalto	Kt	0,0	55,7	13,6	30,8	1,380	47,88	0,07	2,00
PVd1	São Pedro	Santa Maria	Arenito	Kt	0,0	59,9	28,5	11,6	1,500	28,08	0,05	0,61
PVd2	São Jerônimo	Eldorado do Sul	Granito	Kt + Mi	0,8	50,1	26,2	22,9	1,550	43,95	0,11	1,02
RLd	Pinheiro Machado	Canguçu	Granito	Kt + Mi	6,6	60,8	18,1	14,5	1,360	44,23	0,06	0,42
VEo	Aceguá	Aceguá	Siltito	Sm	1,0	8,6	62,4	28,1	1,400	67,08	0,18	0,92
SXd	Bagé	Bagé	Siltito	Sm	2,4	51,5	29,0	17,2	1,570	43,12	0,08	0,21

¹ (EMBRAPA, 1999). Solos com mesma classificação têm número de ordem.

² Kämpf (comunicação pessoal). Classificados subjetivamente pela ordem de potencial de proteção à decomposição da matéria orgânica.

³ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997)

⁴ Segundo Forsythe (1975)

⁵ TFSA, Walkley e Black, modificado por Tedesco et al., (1995).

⁵ Oxalato de amônio (EMBRAPA, 1997)

⁶ Ditionito – citrato – bicarbonato de sódio (EMBRAPA, 1997)

de 22,3 °C, enquanto que Santo Ângelo se apresenta como o mais quente, com média mínima de 13,2 °C e máxima de 26,3 °C. A precipitação pluvial total por ano (PPT) varia de 1322 mm, em Eldorado do Sul, a 1864 mm, em Cruz Alta. Na eventualidade da falta de dados, foram usados como referência os dados disponíveis de municípios vizinhos.

TABELA 2. Caracterização climática geral dos municípios em que foram amostrados os solos. Médias de 30 anos. (Moreno, 1961)

Município	Solo	Precipitação Pluviométrica Total Anual (dm)	Temperatura		
			Mínima (°C)	Máxima (°C)	Média (°C)
Sananduva ¹	LVaf	176,2	11,0	23,3	17,5
Santo Ângelo	LVdf	185,1	13,2	26,3	19,7
Vacaria	LBa	170,0	10,1	22,3	16,2
Cruz Alta	LVd1	186,4	12,9	24,3	18,6
Passo Fundo	LVd2	170,7	12,4	23,6	18,0
Santa Maria	PVd1	176,9	13,8	25,1	19,4
Eldorado do Sul ²	PVd2	132,2	14,5	24,5	19,5
Canguçu ³	RLd	138,8	11,1	22,3	16,7
Aceguá ⁴	VEo	141,4	12,5	23,6	18,0
Bagé	SXd	141,4	12,5	23,6	18,0

¹ Dados de Lagoa Vermelha.

² Dados de Porto Alegre, por tratar-se de município novo

³ Dados de Piratini

⁴ Dados de Bagé, por tratar-se de município novo

As amostras foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas a 6 mm, moídas em almofariz e peneiradas a 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA) e outra parte a 0,5 mm, e acondicionadas em potes plásticos para posterior análise.

Para a determinação de carbono orgânico, foram usadas as amostras peneiradas a 0,5 mm, pelo método descrito por Tedesco et al. (1985), que consiste numa oxidação com solução sulfocrômica e aquecimento externo, seguida de titulação com sulfato de ferro II. A distribuição do tamanho de partículas no solo foi avaliada através da metodologia da pipeta, descrita pela EMBRAPA (1997), usando NaOH como dispersante e as amostras de TFSA. A densidade do solo foi medida pelo método de Forsythe (1975), usando-se anéis volumétricos. Por fim, a distribuição de classes de estabilidade de agregados em água foi realizada de acordo com Silva (1993), partindo-se das amostras peneiradas a 6 mm.

Entre os métodos analíticos potencialmente adequados para a determinação do C passivo do solo, dois foram testados. Em ambos teve-se por objetivo consumir o carbono mais facilmente

oxidável, e que não estivesse protegido fisicamente dentro dos agregados mais estáveis. Por esta razão, usou-se amostras peneiradas a 6 mm de alguns dos solos. No primeiro método, usou-se a determinação do C remanescente à oxidação com KMnO_4 (Shang e Tiessen, 1997; Blair et al., 1995), pelo método descrito por Tedesco et al. (1995), que consiste na oxidação com solução sulfocrômica a quente e posterior titulação com sulfato de ferro II. Por este método, adicionou-se 25 mL de KMnO_4 333 mmol.L^{-1} para 5 g de solo em tubos de centrifuga cobertos com papel alumínio, seguida de uma agitação leve para homogeneizar a amostra, consistindo na oscilação vertical das extremidades de cada tubo, mantidas à temperatura ambiente por um tempo de duas horas e meia. A seguir, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm e lavadas com KCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ por uma vez, seguida de três lavagens com água destilada, intercaladas por centrifugação. Após a retirada do sobrenadante, cada amostra foi seca em estufa a 40°C para posterior moagem até passar em peneira de 0,5 mm, para a análise do C remanescente. A definição pelo uso de agregados até 6 mm relacionou-se à idéia levar em consideração o conceito da proteção física na análise.

No método proposto por Blair et al. (1995), o C lábil é determinado medindo-se a quantidade de KMnO_4 que não foi consumida no processo de oxidação. Sobre esta análise, incide problema de erro gerado pela instabilidade do permanganato de potássio. Na modificação do método, o objetivo é determinar o C que não foi oxidado, eliminando este problema. Por outro lado, foram identificadas algumas dificuldades nesse método, sendo a primeira devido ao controle do processo de lavagem. Como a solução é muito escura, torna-se impossível identificar a presença de partículas de solo em suspensão e certificar-se de que a centrifugação foi suficiente, exigindo o uso de filtragem. Outro ponto negativo se relacionou com o método descrito por Tedesco et al. (1995) e usado na análise do C remanescente. Como este método é influenciado pela presença de manganês precipitado no solo (Tabatabai, 1996), abundante no tratamento das amostras com KMnO_4 , torna-se inadequado para esta finalidade, havendo necessidade de usar outro método, como o baseado em analisador de C.

Também foi testada a oxidação com peróxido de hidrogênio a 40°C por 4 horas de amostras da mesma fração, adaptando-se o método proposto por Mendonça (1995). Por este método, usou-se tubos de centrifuga de 50 mL, nos quais colocou-se 5 g de solo, 20 mL de água destilada, e 2 gotas de álcool amílico, levados ao banho-maria por 20 minutos para equilibrar à temperatura de 40°C . Após este tempo, adicionou-se 10 mL de H_2O_2 concentrado p.a. com um jato de seringa, cobrindo-se os tubos com as tampas para evitar perda de material, mas garantindo a possibilidade de troca de gases,

permanecendo em banho-maria por quatro horas. Após este período, foram procedidas três lavagens da amostra com água destilada e posterior centrifugação a 3500 rpm por cinco minutos. As amostras foram secas em estufa a 40 °C, moídas a 0,5 mm e o carbono remanescente, determinado conforme Tedesco et al. (1995).

Os valores obtidos nesses testes iniciais foram comparados, definindo-se por usar o H₂O₂, por não apresentar os inconvenientes do permanganato. Todos os resultados obtidos pela oxidação com H₂O₂ foram comparados aos produzidos na parametrização e calculados pelo Century, e associados ao fracionamento físico de agregados dispersos em água, o qual foi realizado segundo metodologia proposta por Silva (1998), bem como aos demais atributos determinados em cada solo, através de regressão simples e múltipla.

5.2.2. Descrição do modelo Century v.4.0 e sua utilização

O modelo Century na sua versão 4.0 consiste de um conjunto de submodelos que integra os efeitos de clima, atributos de solo, e manejo agrícola sobre os agroecossistemas, com o intuito de simular as dinâmicas de carbono, nitrogênio, enxofre, fósforo e água no solo, podendo simular situações de manejo em pastagem/lavoura, floresta, e savana. Para tanto, é composto pelos submodelos correspondentes, permitindo ainda a divisão do manejo em blocos no tempo. Assim, pode-se simular sistemas complexos como a sucessão de floresta para pastagem e depois, lavoura, alternando sistema de preparo, adubação, culturas, entre outros. O objeto inicial deste trabalho foi o Submodelo de C (FIGURA 3), em situação de campo nativo, e que será brevemente descrito a seguir.

O carbono presente no solo é dividido em compartimentos segundo seu tempo médio de permanência no solo (Parton et al. 1987). Desta forma, o modelo separa o efeito da recalcitrância das moléculas envolvidas e dos mecanismos de interação da matéria orgânica com a fase mineral do solo, sem, no entanto, incluí-los diretamente no processo de modelagem. Em outras palavras, ele usa o efeito destes processos sobre a duração dos compostos carbonados no solo, mas não inclui diretamente no cálculo todos os mecanismos que o determinam.

Pode-se notar na FIGURA 3, que ele é composto por oito compartimentos de carbono, cujas variáveis de saída do programa estão incluídas em *itálico*. Os passos de transformação do C de um compartimento para outro são tratados como etapas de

decomposição e pressupõem perda de C como CO₂. O C da biomassa das plantas é dividido entre parte aérea e raízes, indo configurar quatro compartimentos de adição após seu corte ou colheita. Eles são separados em *estrutural* e *metabólico*, de acordo com a relação lignina/N, na superfície e no solo. Os compartimentos metabólicos se referem à porção do material adicionado que tem decomposição fácil, com média de permanência entre 0,1 e 1 ano. Já os estruturais são formados por material decomposto mais lentamente, como celulose, hemicelulose e lignina, podendo permanecer ao redor de 3 anos. O quinto compartimento é chamado de *C microbiano superficial* ou *C ativo de superfície*, consistindo-se basicamente na biomassa microbiana. Os compartimentos restantes são relativos ao solo. O *C orgânico ativo* (COA) é representado pela biomassa de microorganismos, exudatos de plantas e microorganismos, e a matéria orgânica metabólica e estrutural já transformada, decomponíveis num período máximo de 3 anos. Já o *C orgânico lento* (COL) apresenta tempo de ciclagem intermediário, de 20 a 50 anos, com moléculas mais complexas e que podem estar fisicamente protegidas no interior de agregados ou interagindo com os minerais do solo. Por último, a fração mais estável, chamada de *C orgânico passivo* (COP), com o tempo de permanência entre 400 e 2000 anos (Parton et al., 1987; Leal, 1996). Este compartimento é composto por compostos quimicamente recalcitrantes e que podem estar física ou coloidalmente protegidos.

5.2.2.1. Requisitos do programa e rotina de uso

O Century é um programa que contém o modelo do mesmo nome desenvolvido para trabalhar com diversos biomas, tipos de solo e clima (Parton et al., 1987 e Metherell et al., 1994). Usou-se a versão 4.0 para UNIX e portada para DOS.

O seu ambiente envolve programas e arquivos, dos quais se destacam um arquivo de sítio ou local (*local.100*) e um arquivo do esquema de manejo (**.SCH*), que são nomeados pelo usuário (APÊNDICE 1). Exemplos deste tipo de arquivo podem ser encontrados nos Apêndices 4 a 17. O arquivo local detém todas as informações iniciais de localização geográfica, clima e solo do sítio que será trabalhado. E no arquivo do esquema de manejo são informadas todas as atividades de manejo, como ano, mês e dose de adubação, preparo de solo, queimadas, tipo de cultura ou floresta, entre outros. Ele permite dividir o manejo em blocos, de forma que é possível construir a história de manejo num único arquivo, para uma mesma simulação. Além disso, o evento de manejo, definido pelo arquivo **.SCH*, se apoia em arquivos acessórios onde são armazenados os parâmetros de cada cultivo (*CULT.100*), cultura (*CROP.100*), fertilização

(*FERT.100*), irrigação (*IRRI.100*), adubação orgânica (*OMAD.100*), uso de fogo (*FIRE.100*), colheita (*HARV.100*), floresta (*TREE.100*), remoção de floresta (*TREM.100*), e pastejo (*GRAZ.100*), além de dados de série histórica de clima (**.WHT*) e dos parâmetros fixos (*FIX.100*).

O modelo apresenta exigências mínimas de parâmetros locais que devem ser incluídos para sua operação. Alguns devem ser necessariamente fornecidos, enquanto outros, como a distribuição dos compartimentos de C, podem ser parametrizados via modelo. Neste caso, é feita uma execução de equilíbrio por um tempo longo e com manejo constante, onde todas as variáveis de saída se estabilizam. Entre as informações imprescindíveis estão tipo de sistema (campo, savana, lavoura, floresta), precipitação média mensal, temperaturas médias máximas e mínimas mensais, latitude e longitude do local do sítio, distribuição granulométrica das partículas do solo, densidade do solo, profundidade e distribuição do sistema radicular, estimativa da deposição anual de N, produtividade das culturas (por ano ou estação de crescimento), relação C/N da vegetação acima e abaixo do solo, distribuição da massa de C em galhos finos, e madeira, raízes finas e grossas, para árvores, e, finalmente, o teor de lignina da vegetação.

Pode-se usar cinco programas interligados no pacote:

CENTURY, que contém o modelo e executa a simulação

FILE100, que permite editar os arquivos acessórios (*CROP.100*, *FERT.100*, *GRAZ.100...*) e o arquivo local *<site.100>*

EVENT100, que lida com o manejo, criando e editando arquivos **.SCH*

LIST100, que permite listar as variáveis de saída desejadas, produzindo arquivos **.LIS*, que podem ser portados para editores de texto ou planilhas eletrônicas.

GETORG, que cria e organiza o arquivo de base para as simulações (*new_siteFILE.100*), substituindo o arquivo local na simulação final.

As instruções detalhadas para o uso do modelo são apresentadas no seu manual (Metherell et al., 1994), exceto para o programa GETORG, criado após esta data. Também pode-se optar por prescindir dos programas FILE100 e EVENT100, usando alternativamente um editor de textos em formato ASCII, agilizando o processo de edição dos arquivos **.100*, ou **.SCH*.

5.2.3. Obtenção dos valores dos compartimentos de carbono

A parametrização consistiu em executar o Century v.4.0 com arquivos locais e de manejo específicos para cada solo estudado (Apêndices 4 a 17), mantendo-se os dados de C iniciais próximos a zero e ajustando as adições de forma a obter o mesmo valor do COT

determinado no solo após 6000 anos. Este ajuste das adições foi realizado pela alteração do parâmetro PRDX(1) do arquivo *CROP.100*, parâmetro este que indica o potencial máximo de adição mensal de C, quando não ocorrem limitações ao crescimento vegetal.

5.2.4. Análise Estatística

Na seqüência foram realizadas análises de correlação para escolher as variáveis a serem incluídas na análise de regressão múltipla. Inicialmente forçou-se todas as variáveis nestas regressões, de forma a verificar a contribuição de cada uma para a composição do COT e do COP dos solos. Depois, retirou-se uma a uma por ordem crescente de R^2 . Também foram calculadas regressões múltiplas pelo método passo a passo, com seleção automática das variáveis, e regressões lineares simples para as mesmas variáveis.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Solos

A caracterização dos solos de campo nativo estudados (TABELA 1) evidencia a amplitude de variação quanto aos principais atributos dos mesmos. Nota-se uma diferenciação acerca da mineralogia dominante, teores de ferro e distribuição granulométrica de partículas nestes solos, que devem se refletir na quantidade de carbono orgânico total presente na camada 0-20 cm por hectare. Da mesma forma existe variação nas características locais de clima (TABELA 2).

Nos solos da região de Bagé, derivados de siltito, predominam esmectitas na fração argila. Já os solos de granito são dominados por micas e caulinita, os de arenito, por caulinita, e os solos de basalto, principalmente por caulinita e óxidos de ferro. Como já foi comentado, há também diferença na distribuição granulométrica das partículas (1,2 a 63,0 dag.Kg⁻¹ de areia; 12,0 a 62,4 dag.Kg⁻¹ de silte e 11,6 a 60,5 dag.Kg⁻¹ de argila). A análise de ferro, que dá um indicativo sobre o grau de intemperização dos minerais do solo, variou entre as amostras. O ferro extraído em oxalato de amônio (Fe_{OX}) indica a quantidade de óxidos de ferro pouco cristalinos, ao contrário do ferro em solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, ou Fe_{DCB}, em que são extraídas ambas as formas. A variação do Fe_{OX} foi de 0,05 a 0,18 dag.Kg⁻¹Fe, enquanto que o Fe_{DCB} oscilou entre 0,21 dag.Kg⁻¹Fe, no SXd, e 9,68 dag.Kg⁻¹Fe, no LVdf. Assim, solos como

o LVaf, LVdf e LBa, com valores altos de Fe_{DCB} , têm maior quantidade de óxidos de ferro cristalinos. Associando estes atributos com as interações que podem ocorrer entre minerais e matéria orgânica, é provável que esta variação tenha sido suficiente para produzir diferenças nos teores de C estável (COP) entre os grupos de solos.

A distribuição dos agregados estáveis em água dos solos (TABELA 3) indica uma variação do diâmetro médio ponderado a úmido (DMPu) de 0,96 mm no PVd1 até 2,23 mm no LVdf. É importante relacionar este resultado verificado nos solos com o potencial dos mecanismos de proteção que estão atuando e se, de alguma maneira, eles podem ter sido refletidos pelas análises de laboratório e preditos pelo modelo.

TABELA 3. Distribuição do tamanho de agregados dos solos estudados.

Solo	Argila	Agregados (mm)				DMPu ¹	Macro-agregados ²
		> 2,00	2,00-0,25	0,25-0,053	< 0,053		
		..... dag. kg ⁻¹	.....	.....	.....	mm	%
LVaf	60,5	19,54	64,34	11,36	4,76	1,52	83,88
LVdf	71,0	41,44	50,75	3,22	4,59	2,23	92,19
LBa	71,3	30,12	59,17	7,20	3,51	1,88	89,29
LVd1	25,7	13,52	45,69	30,30	10,50	1,10	59,21
LVd2	30,8	11,47	54,70	28,25	5,58	1,12	66,17
PVd1	11,6	11,69	40,04	26,88	21,39	0,96	51,73
PVd2	22,9	27,99	50,46	14,00	7,54	1,71	78,45
RLd	14,5	7,45	66,11	15,41	11,02	1,07	73,56
VEo	28,1	32,58	49,04	7,27	11,11	1,87	81,62
SXd	17,2	8,38	55,13	23,18	13,32	0,99	63,51

¹ DMPu = $(([>2] * 4) + ([2-0,25] * 1,125) + ([0,25-0,053] * 0,1515) + ([<0,053] * 0,0265)) / 100$

² Percentagem de agregados maiores que 0,250 mm

A FIGURA 5 relaciona percentagem de macroagregados com o teor de argila ou a soma de silte e argila nos solos, demonstrando que esta aumentou proporcionalmente aos teores de argila e de argila + silte, relacionando-se com os teores de carbono (FIGURA 6), e concordando com dados mostrados por Haynes e Beare (1996) e Christensen (1996). Assim, uma maior quantidade de silte e argila se relaciona com uma maior agregação e, a maiores quantidades de carbono, tal qual o modelo conceitua.

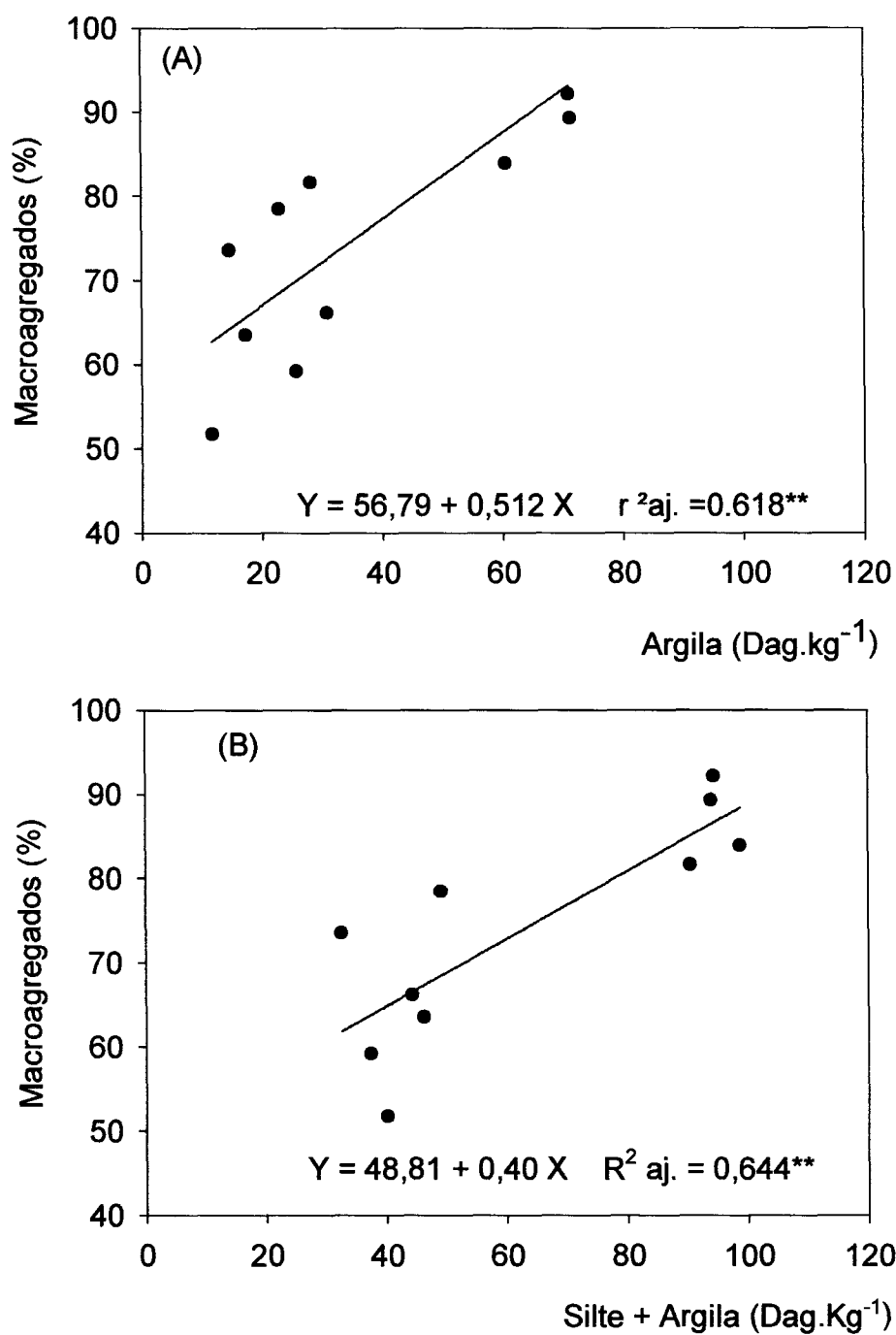


FIGURA 5. Relação entre a argila (A) e a soma de silte e argila (B) com as classes de agregados estáveis dos solos estudados, segundo metodologia adaptada de Silva, 1993.

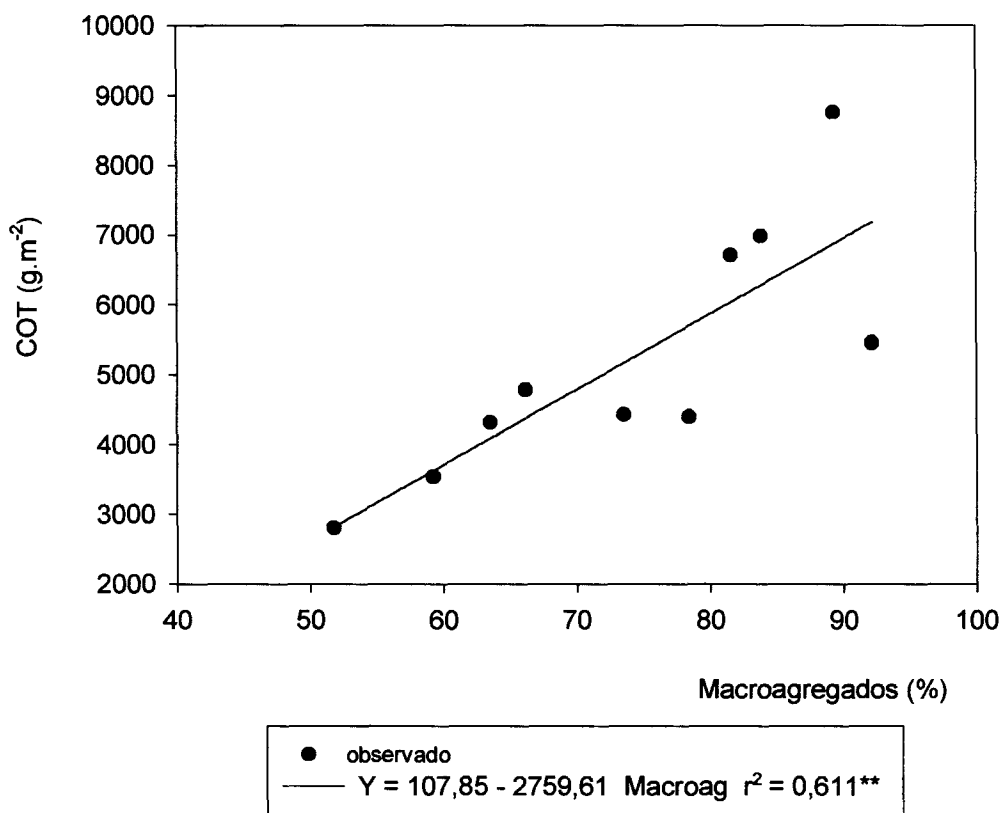


FIGURA 6. Relação entre a quantidade de carbono orgânico na camada arável (0-20 cm) e as classes de macroagregados estáveis em água dos solos estudados, segundo metodologia adaptada por Silva (1993).

5.3.2. Compartimentos de C calculados pelo Century

As execuções de parametrização do modelo para os solos estudados produziram a distribuição de compartimentos ativo, lento e passivo do solo apresentada nas FIGURAS 7 a 16, e o resumo desta distribuição para todos os solos no ano final da execução está disponível na TABELA 4. Como optou-se por analisar apenas os compartimentos de solo, os demais compartimentos, formados pelo C estrutural e metabólico, tanto de superfície como do solo, e pelo C microbiano superficial, serão citados como “outros”.

No solo LVaf de Sananduva, (FIGURA 7), a execução em manejo sob campo natural resultou em 200 g.m⁻² de C-COA, 2286 g.m⁻² de C-COL e 4433 g.m⁻² de C-COP, totalizando 6986 g.m⁻² de C. Estes valores foram equivalentes a uma distribuição

do C nos compartimentos de 2,95% para o COA, 32,7% para COL e 63,5 % para COP, restando 0,9% divididos entre os demais. A adição anual de C pelo campo foi ajustada a 372 g.m^{-2} de forma a igualar o COT simulado após 6000 anos com o COT determinado na amostra correspondente.

A distribuição resultante da execução de equilíbrio do solo LVdf (FIGURA 8) foi de 95 g.m^{-2} (1,7%) de C-COA, 1702 g.m^{-2} (31,2%) de C-COL e 3575 g.m^{-2} de C-COP (65,6%), exigindo uma adição anual de 560 g.m^{-2} de C para obter o COT de 5452 g.m^{-2} . O terceiro Latossolo originado de basalto (LBa) é apresentado na FIGURA 9. Localizado na região de Vacaria, o programa distribuiu 163 g.m^{-2} como C-COA (1,9%), 2493 g.m^{-2} de C-COL (28,5%) e 6013 g.m^{-2} de C-COP (68,6%), com uma adição anual de 497 g.m^{-2} para atingir o COT observado neste solo.

No solo LVd1, procedente de Cruz Alta e originário de arenito (FIGURA 10), obteve-se 83 g.m^{-2} de C-COA ou 2,4%, 1557 g.m^{-2} de C-COL (44,0%) e 1831 g.m^{-2} de C-COP (51,7%), restando 1,9 % ou 67 g.m^{-2} de C distribuídos entre os compartimentos restantes. O C adicionado anualmente correspondeu a 495 g.m^{-2} . Para o LVd2, de Passo Fundo e com material de origem basáltico (FIGURA 11), a simulação produziu 109 g.m^{-2} (2,3%) de C-COA, 1982 g.m^{-2} (41,4%) de C-COL e 2615 g.m^{-2} (54,6%) de C-COP, exigindo adição anual de 553 g.m^{-2} C para ajustar ao COT observado. Os compartimentos restantes compuseram 1,7% do COT, ou 80 g.m^{-2} .

Já o solo PVd1, da unidade de mapeamento São Pedro (FIGURA 12), de Santa Maria, e derivado de arenito, apresentou a seguinte distribuição dos compartimentos de C no solo: 80 g.m^{-2} (2,8%) de C-COA, 1546 g.m^{-2} (55,1%) de C-COL e 1113 g.m^{-2} (39,7%) de C-COP e uma adição anual de C para o ajuste do valor de COT correspondente a 504 g.m^{-2} . A quantidade e a proporção de COP calculada para este solo foi a menor de todos os solos estudados. Este resultado foi coerente com o esperado, uma vez que é o solo mais arenoso e em clima quente, o que propiciaria a maior decomposição da matéria orgânica. Para o solo PVd2, de Eldorado do Sul (FIGURA 13), os cálculos proporcionaram 111 g.m^{-2} (2,5%) de C-COA, 2208 g.m^{-2} (50,2%) de C-COL e 1942 g.m^{-2} (44,1%) de C-COP, restando 3,1% do C (138 g.m^{-2}) para os demais compartimentos. A adição de C necessária ao ajuste do COT foi de 599 g.m^{-2} por ano.

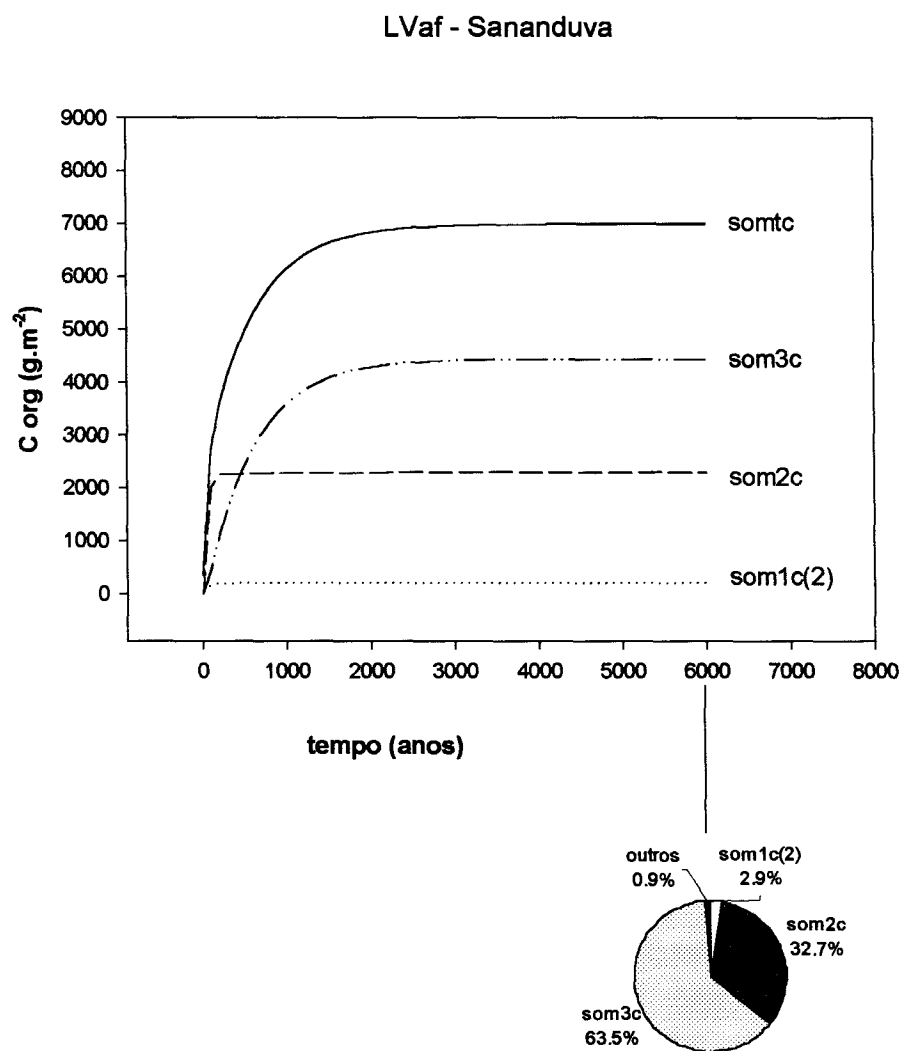


FIGURA 7. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (LVaf) pertencente à unidade de mapeamento Erexim e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOM1C(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

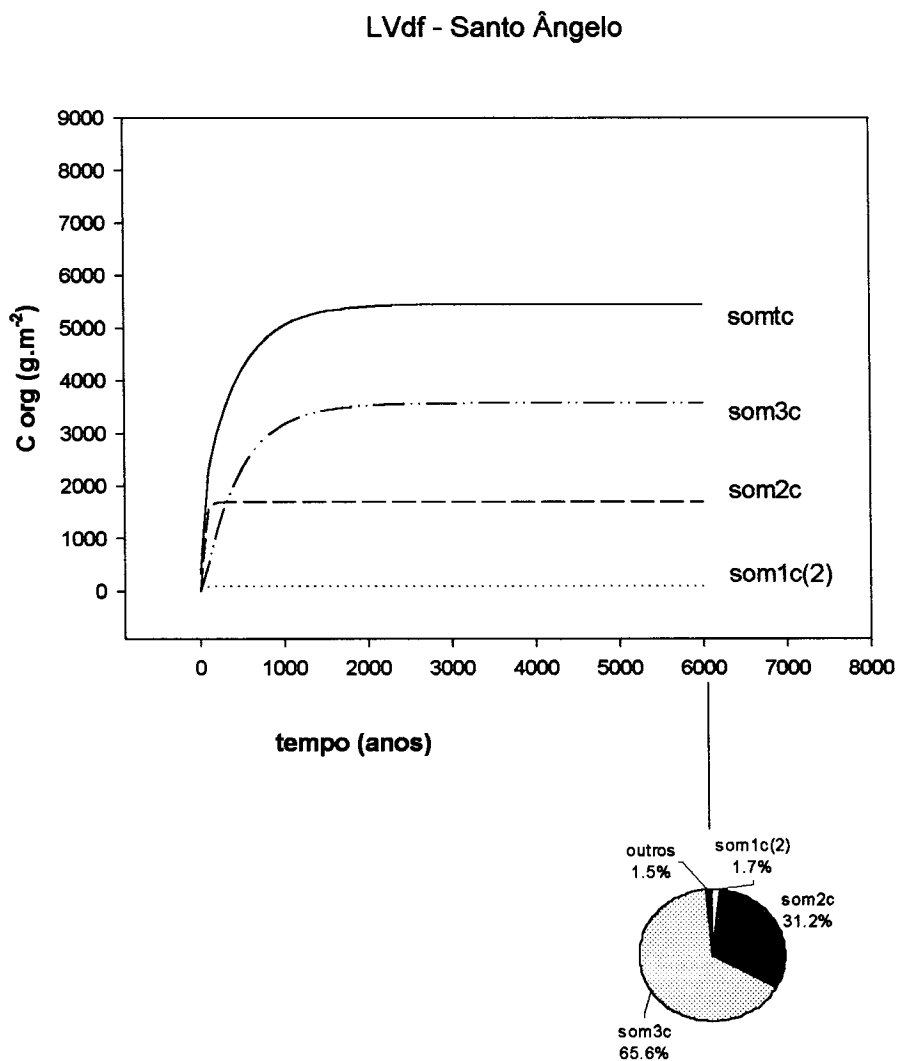


FIGURA 8. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) da unidade de mapeamento Santo Ângelo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

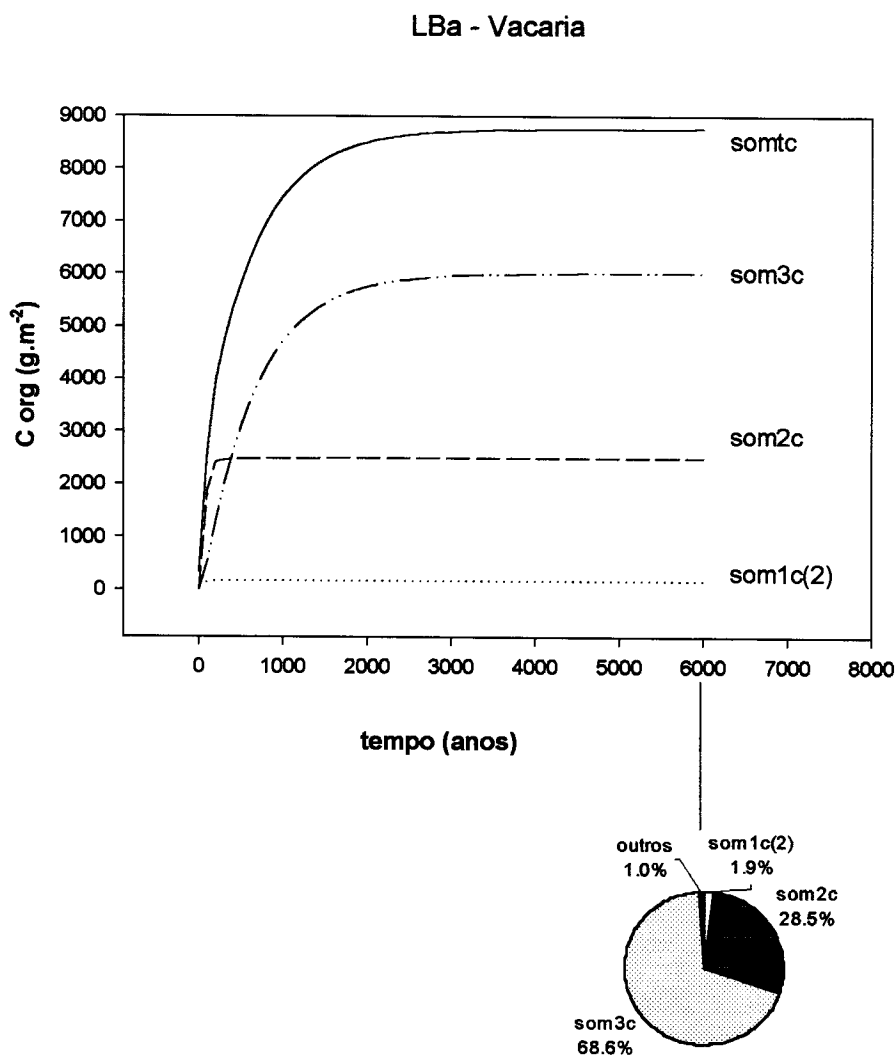


FIGURA 9. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Bruno aluminico câmbico (LBa) pertencente à unidade de mapeamento Vacaria e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOM1C(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

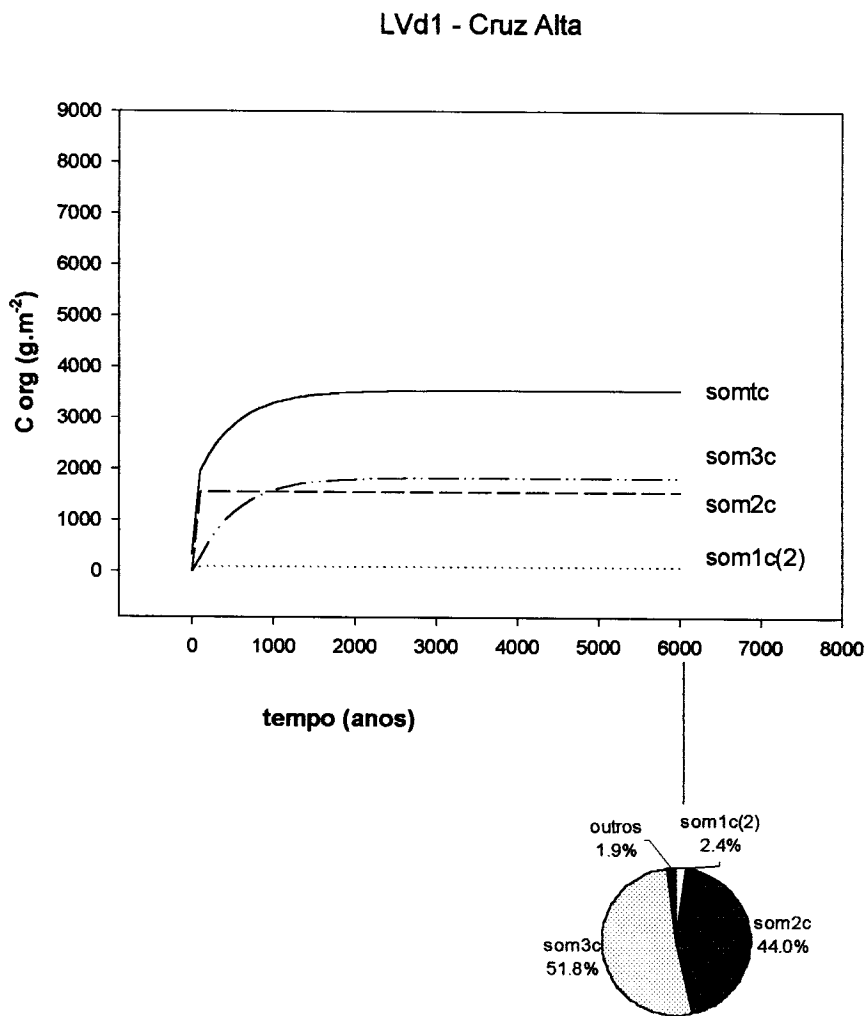


FIGURA 10. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd1) pertencente à unidade de mapeamento Cruz Alta e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

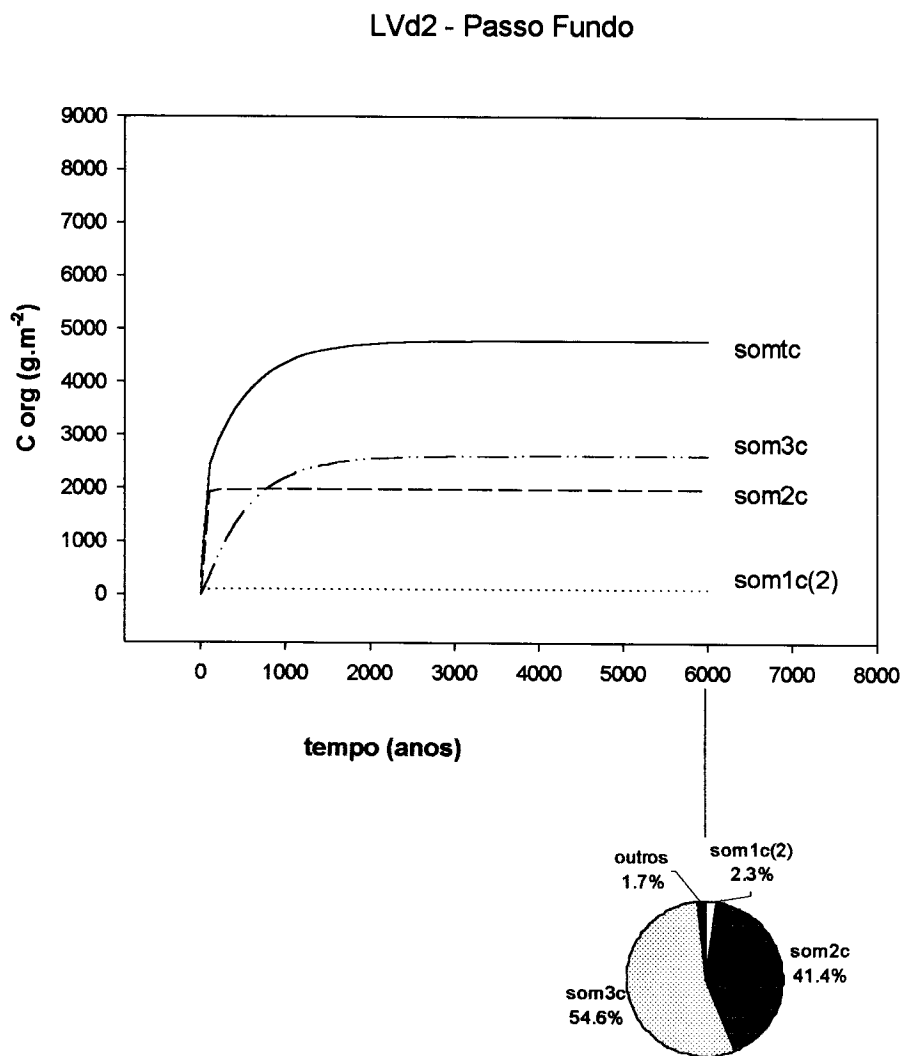


FIGURA 11. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd2) pertencente à unidade de mapeamento Passo Fundo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOM1C(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

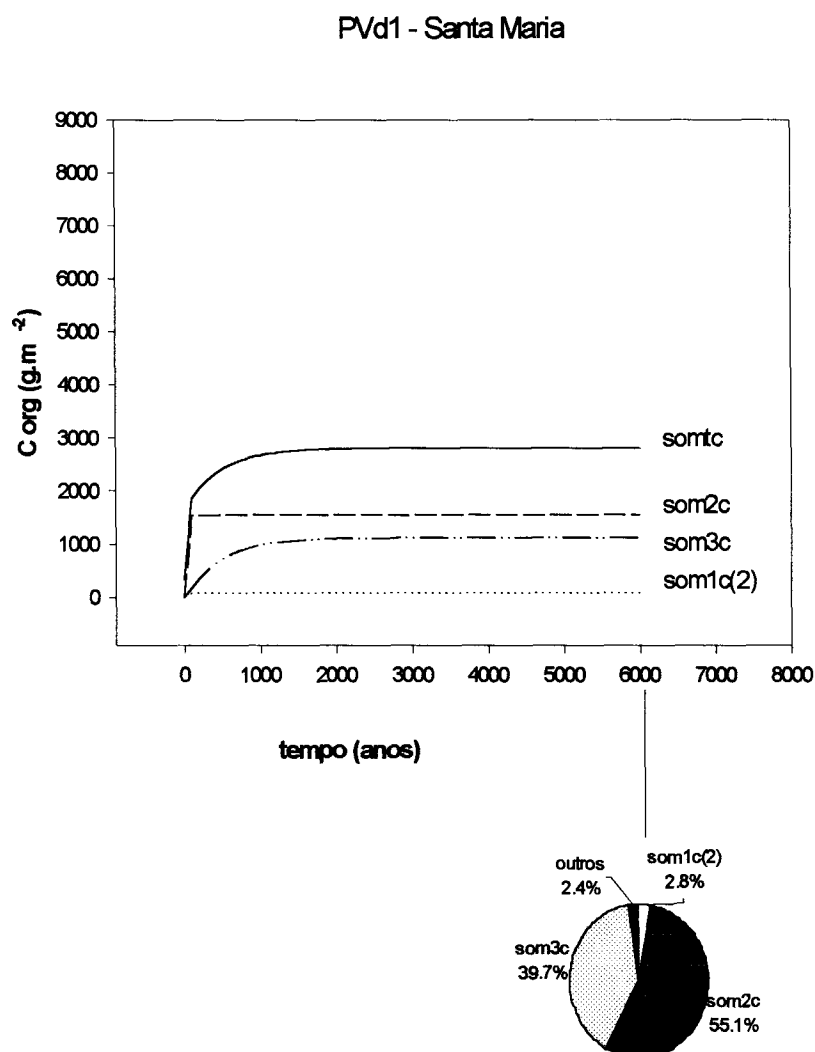


FIGURA 12. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd1) pertencente à unidade de mapeamento São Pedro e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

PVd2 - Eldorado do Sul

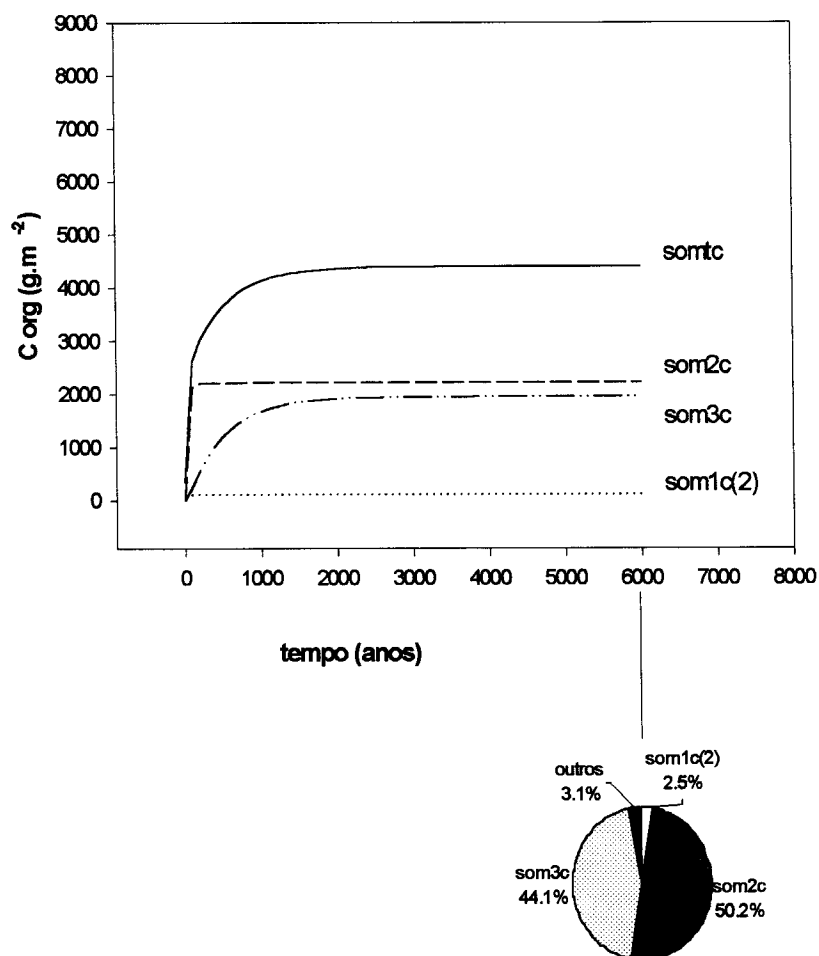


FIGURA 13. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Argissolo Vermelho distrófico típico (PVd2) pertencente à unidade de mapeamento São Jerônimo e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

No solo lítico de granito procedente de Canguçu (RLd, FIGURA 14), que exigiu 627 g.m^{-2} de adição anual de C pelo campo nativo, a distribuição dos compartimentos foi de 113 g.m^{-2} (2,6%) de C-COA, 2294 g.m^{-2} (51,9%) de C-COL e 1873 g.m^{-2} (42,3%) de C-COP, restando 143 g.m^{-2} , equivalente a 3,2 % do total de C alocado para os demais.

Entre os solos originados de siltito, o VEO de Aceguá (FIGURA 15) apresentou 270 g.m^{-2} (4,0%) de C-COA, 3258 g.m^{-2} (48,6%) de C-COL e 3088 g.m^{-2} (46,0%) de C-COP, sobrando 1,4% para o restante ou 92 g.m^{-2} , com 537 g.m^{-2} de C adicionado anualmente. Já para o solo SXd (FIGURA 16), de Bagé, que é mais arenoso, a distribuição foi de 115 g.m^{-2} (2,7%) para o C-COA, 2247 g.m^{-2} (52,1%) para o C-COL e 1830 g.m^{-2} (42,4%) para o C-COP. O equivalente a 2,8 % do C ou $120,7 \text{ g.m}^{-2}$ foi alocado aos demais compartimentos e o C adicionado foi de 589 g.m^{-2} por ano.

A TABELA 4 resume os dados obtidos com a parametrização do modelo nas execuções de equilíbrio. Apesar do vertissolo (VEo) e o planossolo (SXd) possuírem a mesma mineralogia dominante, nota-se que a textura diferente deve ter contribuído para fazer variar a dinâmica do carbono, resultando num COT 1,5 vezes maior no vertissolo, uma vez que os dados climáticos usados nas simulações foram os mesmos. Comparando os compartimentos, a diferença foi mais pronunciada para o COP (3088 g.m^{-2} no VEO contra 1830 g.m^{-2} para o SXd). No grupo dos solos de granito (RLd e PVd1), os valores de COT foram semelhantes, assim como a textura, propiciando distribuição de compartimentos aproximadas entre si. Os solos de arenito (PVd2 e LVd1) apresentaram as menores quantidades de carbono na camada 0 – 20 cm, mas a distribuição de C nos compartimentos variou provavelmente devido à maior quantidade de argila presente no LVd1. E os latossolos originários de basalto (LVaf, LVdf e LBa), apresentaram as maiores quantidades de COT armazenado, e também a maior proporção de COP, possivelmente devido à proteção à decomposição gerada pela mineralogia dominada por óxidos de ferro, associada à textura argilosa. Embora o modelo não tenha levado em consideração a mineralogia, outros fatores associados a esta, como Fe_{DCB} e Argila, se correlacionaram significativamente ($R^2 = 0,9627^{**}$, TABELA 5). Desta forma, o modelo refletiu indiretamente esta variação. Esperaria-se um resultado diverso, na possibilidade da inclusão de solos com mesma distribuição granulométrica, mas mineralogias variadas, especialmente com respeito à área de superfície específica (ASE), como foi demonstrado por Parfitt et al. (1997). Além destes, o solo VEO também propiciou maior quantidade de COT (6708 g.m^{-2}), embora proporcionalmente menos C tenha sido alocado como COP.

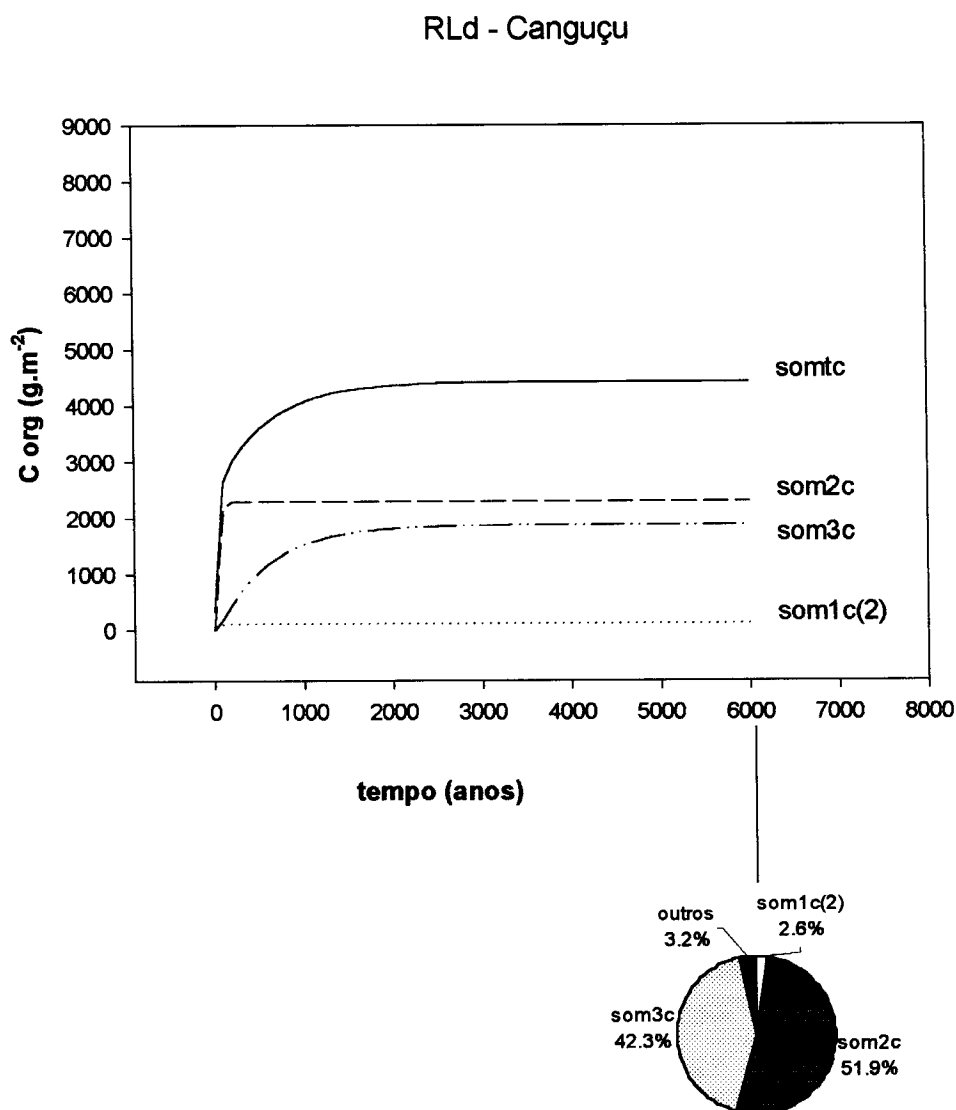


FIGURA 14. Dinâmica dos compartimentos de carbono no solo Litólico distrófico (RLd) da unidade de mapeamento Pinheiro Machado e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOM1C(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

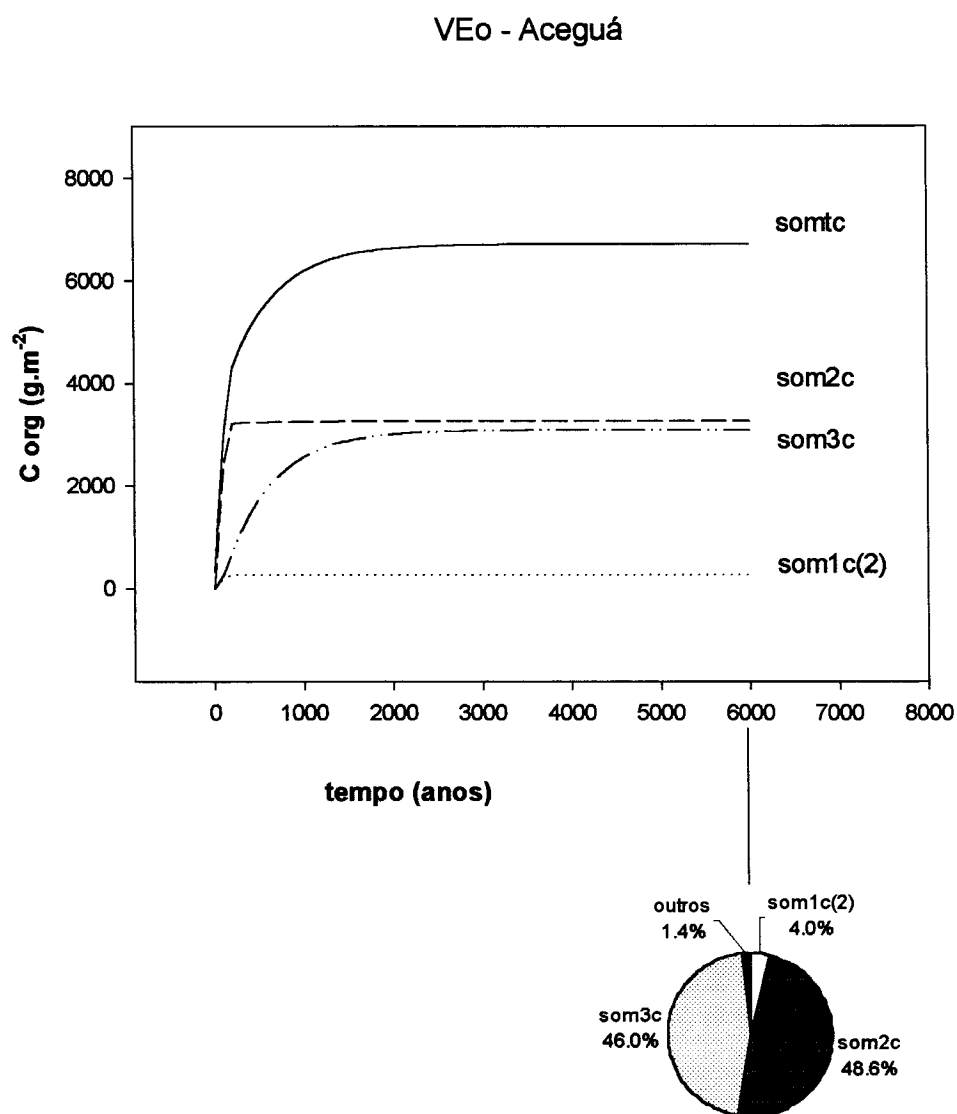


FIGURA 15. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Vertissolo Ebânico Órtico (VEo) pertencente à unidade de mapeamento Aceguá e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

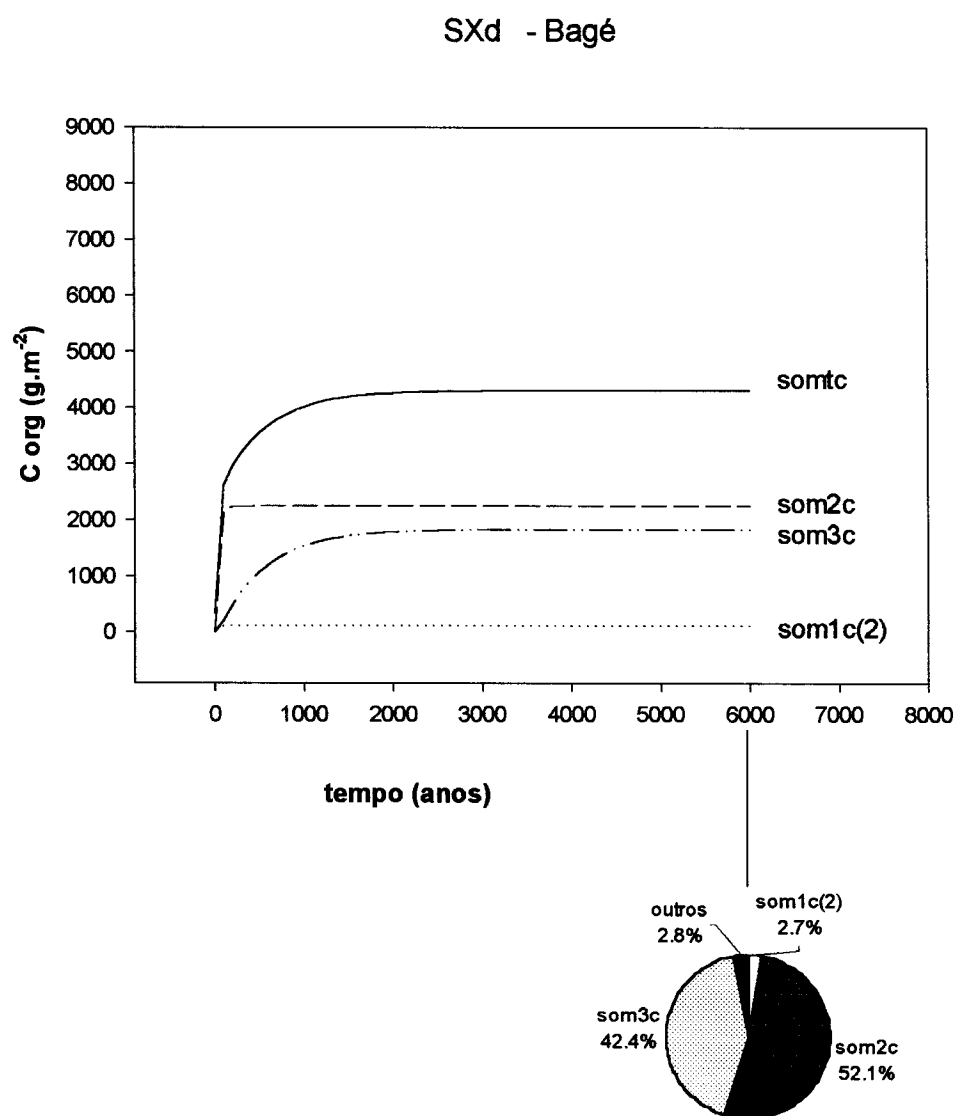


FIGURA 16. Dinâmica dos compartimentos de carbono no Planossolo Háplico distrófico (SXd) pertencente à unidade de mapeamento Bagé e sua distribuição percentual no final da parametrização do modelo Century v. 4.0. *SOMIC(2)* = C ativo do solo; *SOM2C* = C lento; *SOM3C* = C passivo, outros = demais compartimentos de C.

TABELA 4. Valores calculados pelo modelo Century v. 4.0 no processo de parametrização dos compartimentos de carbono dos solos sob campo nativo estudados.

Classes de Solo	Unidade de Mapeamento	Compartimentos de Carbono Orgânico									Adição Anual de C (g.m ⁻²)
		COA		COL		COP		OUTROS ¹		COT	
		(g.m ⁻²)	(%)	(g.m ⁻²)	(%)	(g.m ⁻²)	(%)	(g.m ⁻²)	(%)			(g.m^{-2})
Lvaf	Erexim	200	2,9	2286	32,7	4433	63,5	66	0,9	6986	372
LVdf	Santo Ângelo	95	1,7	1702	31,2	3575	65,6	80	1,5	5452	561
LBa	Vacaria	163	1,9	2493	28,5	6013	68,6	93	1,1	8763	497
LVd1	Cruz Alta	83	2,4	1557	44,0	1831	51,7	67	1,9	3539	495
LVd2	Passo Fundo	109	2,3	1982	41,4	2615	54,6	80	1,7	4785	553
PVd1	São Pedro	80	2,8	1546	55,1	1113	39,7	66	2,4	2805	504
PVd2	São Jerônimo	111	2,5	2208	50,2	1942	44,1	138	3,1	4398	599
RLd	Pinheiro Machado	113	2,6	2294	51,9	1873	42,3	143	3,2	4424	627
VEo	Aceguá	270	4,0	3258	48,6	3088	46,0	92	1,4	6708	537
SXd	Bagé	115	2,7	2247	52,1	1830	42,4	119	2,8	4312	589
Médias		134	2,6	2157	41,4	2831	54,3	95	2,0	5217	534

¹ Soma dos compartimentos de adição de C e do C microbiano superficial.

TABELA 5. Matriz de correlação entre as variáveis testadas nas regressões.

	COT	COP	Cadic	CH2O2c	Fe_{DCB}	SILTE	ARGILA	MACROAG	DMPu
	..... g.m ⁻²		..... dag.Kg ⁻¹						(°C)
COT	1,0000 ¹ 0,0000 ²	0,9552 0,0000	-0,3903 0,2648	0,5685 0,0864	0,6422 0,0453	0,4216 0,2249	0,7697 0,0092	0,8090 0,0046	0,6622 0,0370
COP		1,0000 0,0000	-0,4877 0,1527	0,6574 0,0389	0,7966 0,0058	0,2115 0,5575	0,8990 0,0004	0,7852 0,0071	0,6583 0,0385
Cadic			1,0000 0,0000	-0,5929 0,0708	-0,5460 0,1025	-0,2342 0,5148	-0,4797 0,1606	-0,1027 0,7776	-0,0944 0,7953
CH2O2c				1,0000 0,0000	0,8670 0,0012	0,1597 0,6595	0,8204 0,0036	0,6759 0,0319	0,5851 0,0756
Fe_{DCB}					1,0000 0,0000	0,0287 0,9373	0,9627 0,0000	0,7344 0,0156	0,6739 0,0326
SILTE						1,0000 0,0000	0,0550 0,8800	0,3229 0,3628	0,3943 0,2596
ARGILA							1,0000 0,0000	0,7989 0,0056	0,7533 0,0119
MACROAG								1,0000 0,0000	0,8966 0,0004
DMPu									1,0000 0,0000

¹ Coeficiente de correlação

² Nível de Significância (Considerado significativo a 5% se resultar em coeficiente P<0,05)

Neste caso, a menor quantidade de argila ($28,1 \text{ dag.Kg}^{-1}$) deve ter contribuído para o resultado. O valor mais alto de COA, observado no VEO, superou 3,4 vezes o menor, no PVD1 (270 e 80 g.m^{-2}), evidenciando a variabilidade do grau de participação da biomassa microbiana calculada para estes solos. O COL também foi influenciado pelo tipo de solo, tendendo a apresentar maior proporção nos solos de textura arenosa a média derivados de siltito e granito, seguido dos de arenito. A menor proporção de COL ocorreu nos solos argilosos, derivados de basalto. Por outro lado, a participação do COP calculado pelo modelo em cada solo apresentou comportamento complementar, sendo maior nos solos argilosos e menor, nos mais arenosos. Em valores absolutos, o COL foi 2,1 vezes maior no solo VEO do que no solo PVD1, e o COP foi 5,4 vezes maior no solo LBA do que no PVD1.

Analisando o comportamento geral da dinâmica dos compartimentos com respeito ao tempo necessário à estabilização no processo de parametrização, nota-se que esse tempo foi inversamente proporcional às taxas de decomposição de cada um, conforme era esperado. Assim, o COA, estabilizou-se mais rapidamente, seguido do COL, e do COP.

Para verificar a relação de importância dos principais atributos de solo avaliados com os resultados de COT e COP, foi feita uma análise de correlação, cuja matriz é apresentada na TABELA 5. Nota-se que o COT dos solos apresentou uma relação altamente significativa ($P < 0,01$) com a quantidade de argila e a porcentagem de macroagregados estáveis em água, e significativa ($P < 0,05$) com conteúdo de ferro em DCB e o diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMPu).

O COP calculado pelo Century apresentou uma correlação altamente significativa ($P < 0,01$) com o COT, o Fe_{DCB} , a argila e a porcentagem de macroagregados. Também correlacionou-se significativamente ($P < 0,05$) com o $\text{C-H}_2\text{O}_2$ e o DMPu, sugerindo que a definição da quantidade calculada de C estável (COP) nos solos sob manejo natural pode ser explicada em função destes atributos de solo. Contudo, deve-se considerar que, tanto a quantidade de argila como o COT estão associados aos cálculos realizados pelo Century. E, como os valores de COT estimados após 6000 anos foram aproximados aos valores observados, através do ajuste das adições de C, o seu uso para as regressões seria questionável. Por outro lado, o fato dos demais atributos terem se correlacionado ao COP indica que o modelo conseguiu explicar uma parte do efeito sobre a agregação (DMPu, porcentagem de

macroagregados) e a proteção à decomposição ($C-H_2O_2$; Fe_{DCB}) para a situação apresentada, possivelmente porque essas variáveis também são correlacionadas com argila.

Desses atributos, apenas o COT e a argila estão diretamente envolvidos com o cálculo realizado pelo programa. E como o COT é um produto do cálculo pelo Century, restaria a argila como determinante dos resultados. Ainda assim, pode-se afirmar que o fato do DMPu, que é um atributo de solo sensível ao manejo, ter-se correlacionado com o COP, indica que o modelo conseguiu explicar parte deste efeito de modo indireto para a condição estudada.

A quantidade de C adicionada pelo campo nativo em cada solo não se correlacionou significativamente ($P < 0,05$) com nenhum dos fatores selecionados. Por se tratarem de execuções de equilíbrio, com o mesmo tipo de manejo e num tempo longo (6000 anos), os valores de cada variável de saída se estabilizam, de forma que o resultado foi coerente com o esperado.

O C remanescente ao ataque com H_2O_2 a 40 °C por 4 horas relacionou-se de forma altamente significativa ($P < 0,01$) com o Fe_{DCB} e a quantidade de argila, e significativamente ($P < 0,05$) com a percentagem de macroagregados estáveis em água.

O ferro em DCB (Fe_{DCB}) apresentou uma correlação altamente significativa ($P < 0,01$) com o $C-H_2O_2$, e significativa ($P < 0,05$) com o COT, a percentagem de macroagregados e o DMPu. Verifica-se, desta forma, uma relação entre a estabilidade de agregados em água, e a presença de maiores quantidades de ferro cristalino nas amostras. Silva (1993), obteve correlação significativa do DMPu para quatro solos do Planalto Meridional, mas com determinação de ferro em oxalato de amônio, e coeficiente de determinação menor. Por outro lado, pode-se constatar que houve uma relação direta entre o C protegido, que não foi oxidado pelo H_2O_2 a 40 °C por 4 horas, e a quantidade de Fe_{DCB} , indicando que esta determinação pode ser um dos caminhos para a avaliação química de uma fração mais resistente à decomposição.

A quantidade de silte na amostra não se correlacionou significativamente com nenhum dos fatores testados. Em parte, este resultado se justifica porque ele não é usado diretamente nos cálculos do modelo para determinar a distribuição dos compartimentos, e nem se espera que seja a fração mais importante para a determinação de mecanismos de

proteção. Contudo, esta fração foi a que apresentou menor variabilidade entre os solos, com exceção do VEO, em que a amostra apresentava maior quantidade de silte.

Já para a argila, observou-se correlação positiva e altamente significativa com o COT, com o C - H₂O₂, com o Fe_{DCB}, e a percentagem de macroagregados, bem como relacionou-se significativamente (P<0,05) com o DMPu. Desta forma, pode-se inferir que o uso deste parâmetro no cálculo encerra em si parte da contribuição da estabilidade da agregação dos solos. Entretanto, deve-se levar em consideração que os manejos usados neste estudo não envolvem a atividade humana e sua interferência sobre o estado de agregação do solo e armazenamento de carbono. Sendo assim, não é possível extrapolar estes resultados para situações de solos degradados, em que a argila não determinaria esta estabilidade dos agregados isoladamente.

A percentagem de macroagregados (> 250 µm) apresentou relação altamente significativa (P<0,01) com COT, quantidade de argila e DMPu, assim como se correlacionou significativamente (P<0,05) com C-H₂O₂, e Fe_{DCB}. Por esta análise, pode-se inferir que a proporção destes agregados estáveis em água está associada à percentagem de argila e, em parte à mineralogia dominante através do teor de Fe_{DCB}. A relação da percentagem de macroagregados com argila, Fe_{DCB} e COT já era esperada (Silva, 1993). E também para DMPu, uma vez que são calculados com base no mesmo grupo de dados, e são os macroagregados que configuram a maior participação no seu valor. Comparando a percentagem de macroagregados com o DMPu, nota-se que este último apresentou relações semelhantes, porém com níveis de significância menores.

5.3.3. Carbono Orgânico Total (COT)

O conteúdo total de carbono nos solos estudados (TABELA 1, página 39) variou de 2805 a 8763 g.m⁻². Na TABELA 6 constam as regressões múltiplas e lineares entre o COT e atributos correlacionados a ele. Constata-se que 99,77% do COT foi explicado em função do COP calculado, Fe_{DCB}, argila, percentagem de macroagregados e DMPu na equação (1). Apesar disso, a análise de regressão do modelo revelou que Fe_{DCB}, Argila e DMPu não foram significativos (P<0,05), a percentagem de macroagregados foi significativa (P<0,05) e COP, altamente significativo (P<0,01). Já para a equação (2), a retirada do COP implicou na redução do coeficiente de determinação ajustado aos graus de liberdade do erro para 0,972. Nenhum dos parâmetros foi significativo ao nível de 5% de significância, mas argila e macroagregados o foram para P<0,10.

TABELA 6. Equações de regressão para o conteúdo de carbono orgânico total (COT) em função de atributos dos solos sob campo nativo estudados.

Regressão Múltipla	R² aj.
(1) $COT = 1,6373 COP + 54,0975 Fe_{DCB} - 63,2265 Arg + 25,1733 Macr + 538,8539 DMPu$	0,9977**
(2) $COT = -56,6010 Fe_{DCB} + 139,8962 Arg + 55,8143 Macr - 1376,0432 DMPu$	0,9719**
(3) $COT = 39,1255 Arg + 72,2246 Macr - 1022,9548 DMPu$	0,9637**
(4) $COT = 32,7295 Arg + 55,1188 Macr$	0,9666**
(5) $COT = 1,5301 COP - 44,9713 Macr + 33,5561 Arg$	0,9980**
Regressão Simples	r² aj.
(6) $COT = 71,61787 Macr$	0,9595**
(7) $COT = 107,8757 Macr - 2761,3987$	0,6112**
(8) $COT = 1,7039 COP$	0,9659**
(9) $COT = 1966,5977 + 1,1481 COP$	0,9015**
(10) $COT = 122,9449 Arg$	0,8709**
(11) $COT = 3114,500 + 59,4655 Arg$	0,5415**
(12) $COT = 4233,61 + 303,859 Fe_{DCB}$	0,4125**
(13) $COT = 1451,76 + 2602,78 DMPu$	0,4385*

A eliminação do Fe_{DCB} na regressão gerou a equação (3), com R^2 de 0,9637, significativo para $P < 0,01$. Contudo, a análise de variância do modelo indicou que houve diferença significativa ($P > 0,05$) apenas para a percentagem de macroagregados. A supressão do DMPu gerou a equação (4), com R^2 de 0,9666, significativo para $P < 0,01$ e novamente apenas com macroagregados altamente significativos ($P < 0,01$). Finalmente, a retirada da quantidade de argila (6) reduziu o R^2 para 0,9595, altamente significativo ($P < 0,01$), porém o teste t revelou diferença altamente significativa ($P < 0,01$) para macroagregados. A inclusão da constante na equação (7) provocou a queda drástica do R^2 para 0,6112**, bem como a mesma não foi significativa ($P < 0,05$) na ANOVA para os parâmetros da equação.

A equação (5) representa o resultado da seleção passo a passo. Dentre as variáveis que se relacionam ao COT, COP é dependente de COT, uma vez que foi calculada pelo Century ajustando-se a adição para que o COT fosse igual aos valores observados. Desta forma, apesar do alto coeficiente de determinação, não deve ser usada, assim como ocorre com a primeira equação apresentada. Comparando o efeito isolado da percentagem dos macroagregados e da argila, equações (6) e (10), pode-se perceber que o r^2 da primeira foi superior, indicando maior importância na configuração do COT, sendo que a associação de ambas as variáveis produziu um leve acréscimo no coeficiente de determinação, como se observa na equação (4).

Tanto a equação (8) como a (9) se relacionam ao COP. Apesar dos coeficientes de determinação elevados, ambos os compartimentos foram calculados pelo Century e apenas demonstram que há uma relação positiva entre eles. Tomando por base os dez solos estudados, o COT seria equivalente a 1,7 vezes o COP. A inclusão da constante na regressão diminuiu o r^2 , tendo sido altamente significativa ($P < 0,01$) para o teste-t associada à variável independente (COP).

As regressões simples para a argila, observadas nas equações (10) e (11), evidenciaram que 87,09% do COT pôde ser explicado pela quantidade de argila dos solos estudados, para constante nula ou a reta passando pela origem. Desta forma, para o aumento de uma unidade percentual de argila, o COT deve se elevar em aproximadamente 123 g.m^{-2} no solo. A inclusão de uma constante diferente de zero diminuiu o r^2 , embora a análise de variância para a constante e a quantidade de argila tenham sido altamente significativas ($P < 0,01$). E, finalmente, as equações (12) e (13)

evidenciam a menor contribuição tanto de Fe_{DCB} como $DMPu$ para a determinação do COT.

Observa-se ainda a tendência dos maiores teores de COT ocorrerem nos solos com maiores quantidades de argila e localizados nos municípios mais frios, com menores temperaturas médias anuais do ar (FIGURA 17). Estes dados concordam com os apresentados por Kämpf e Schwertmann (1983) para a região do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul.

5.3.4. Carbono Orgânico Passivo (COP)

A quantidade de carbono alocada ao compartimento passivo (COP) pelo modelo na execução de equilíbrio variou entre os solos. O manejo de campo nativo sob pastejo leve, sem prejuízo para a produção de biomassa pelas plantas, produziu conteúdo médio de COP de 1113 – 6013 $g.m^{-2}$, variando de 39,7 a 68,6% do COT dos solos, conforme já foi apresentado na TABELA 4. As equações de regressão calculadas para este compartimento, por sua vez, podem ser encontradas na TABELA 7. Procurou-se incluir todas as variáveis que apresentaram correlação significativa, subtraindo-as por ordem de importância. Também foi incluída a seleção realizada pelo método passo a passo.

Nota-se, pela equação (1), que 99,86% do COP foi explicado pela inclusão do C remanescente ao H_2O_2 , $DMPu$, percentagem de macroagregados, Fe_{DCB} , argila e COT. Neste caso, apenas a argila e o COT apresentaram teste-t altamente significativo ($P<0,01$). A supressão do primeiro termo, conforme a equação (2), produziu resultado semelhante na ANOVA das variáveis independentes do modelo, com diferença significativa ($P<0,05$) para argila e para COT ($P<0,01$), e o R^2 passando para 0,9976. Já a retirada do $DMPu$ na equação (3) gerou um R^2 de 0,9972, altamente significativo, bem como melhorou o resultado da ANOVA. Neste caso, o Fe_{DCB} não foi significativo, a argila foi significativa para $P<0,05$, e a percentagem de macroagregados e COT, altamente significativos ($P<0,01$). Na equação (4), Fe_{DCB} e argila não foram significativos ($P<0,05$), e COT foi ao nível de 5 % de significância, e o R^2 foi para 0,9860. A manutenção da argila e COT na equação (5) levou o coeficiente de determinação para 0,9876, apresentando ANOVA altamente significativa tanto para o modelo como para as variáveis independentes. Aparentemente, o Fe_{DCB} contribuiu pouco na regressão múltipla por estar intimamente relacionado à quantidade de argila dos solos (TABELA 5).

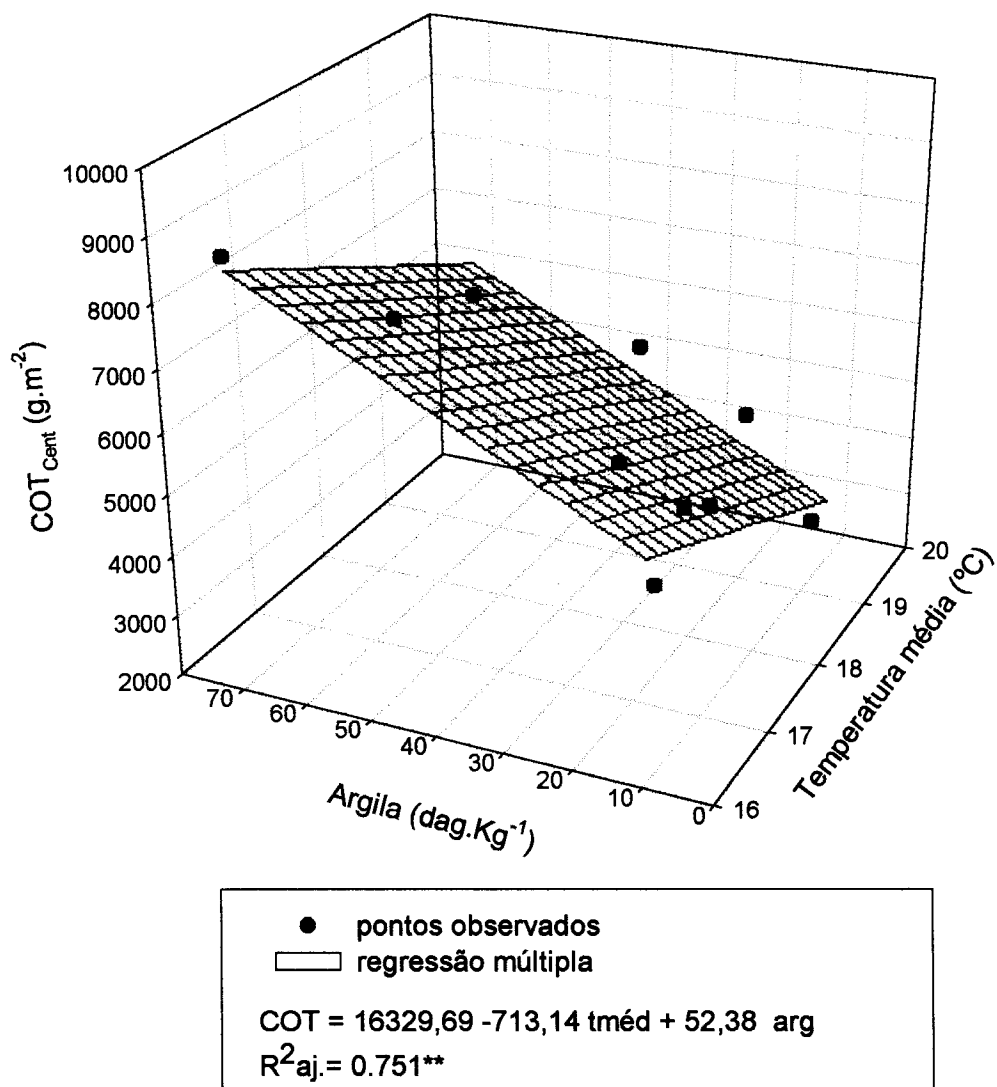


FIGURA 17. Relação entre a quantidade de argila no solo e a temperatura média anual do ar sobre o teor de carbono orgânico total (COT) dos solos estudados.

TABELA 7. Equações de regressão múltipla para o Carbono Orgânico Passivo (COP) calculado pelo Century v. 4.0 e atributos dos solos sob campo nativo.

Regressão Múltipla		R ² aj.
(1)	$COP = -0,1908 C-H_2O_2 - 496,610 DMPu - 5,5028 Macr - 14,3536 Fe_{DCB} + 42,9606 Arg + 0,5596 COT$	0,999**
(2)	$COP = -385,4642 DMPu - 13,0893 Macr - 56,1614 Fe_{DCB} + 44,3455 Arg + 0,5698 COT$	0,998**
(3)	$COP = -20,2891 Macr - 26,2802 Fe_{DCB} + 35,5698 Arg + 0,6049 COT$	0,997**
(4)	$COP = 42,1668 Fe_{DCB} + 24,0053 Arg + 0,3677 COT$	0,986**
(5)	$COP = 32,1370 Arg + 0,3392 COT$	0,988**
(6)	$COP = -20,0231 Macr + 30,5232 Arg + 0,6189 COT$	0,997**
(7)	$COP = 112,471 Arg - 351,509 Fe_{DCB}$	0,971**
Regressão Simples		r ² aj.
(8)	$COP = 0,5669 COT$	0,966**
(9)	$COP = -1314,9996 + 0,7947 COT$	0,901**
(10)	$COP = 73,8461 Arg$	0,944**
(11)	$COP = 788,0564 + 57,7840 Arg$	0,784**
(12)	$COP = 564,8489 Fe_{DCB}$	0,745**
(13)	$COP = 1816,2631 + 313,5733 Fe_{DCB}$	0,589**
(14)	$COP = 39,6909 Macr$	0,886**
(15)	$COP = -3611,7485 + 87,1141 Macr$	0,569**
(16)	$COP = 1973,1291 DMPu$	0,890**
(17)	$COP = -282,8876 + 2152,6146 DMPu$	0,362*
(18)	$COP = 1,2151 C-H_2O_2$	0,884**
(19)	$COP = 437,2465 + 1,0487 C-H_2O_2$	0,361*

Macr = Percentual de macroagregados

Arg = argila (dag.Kg⁻¹)

Fe_{DCB} = Ferro extraído com Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio.

DMPu = Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)

C-H₂O₂ = COP determinado com H₂O₂ a 40 °C por 4 horas (g.m⁻²)

A escolha das variáveis do modelo pelo método passo a passo gerou a equação (6). Verifica-se o mesmo problema observado para o COT devido à dependência entre COT e COP, já que ambos foram calculados pelo Century. Apesar disso, a equação permite conhecer a relação que houve entre estas variáveis para a situação estudada. A retirada do COT da regressão proporcionou a equação (7), em que foram selecionados argila e ferro em DCB, com R^2 de 0,9714. A ANOVA individual das variáveis revelou diferença significativa ($P < 0,05$) para o Fe_{DCB} e altamente significativa ($P < 0,01$) para a quantidade de argila dos solos. Esta relação pode ser melhor visualizada na FIGURA 18. O aumento de uma unidade na proporção de argila contribuiu para elevar o COP em 112 g.m^{-2} , ao passo que o aumento de uma unidade de Fe_{DCB} contribuiu para reduzi-lo em 351 g.m^{-2} , para as variáveis associadas, pois a relação do COP com Fe_{DCB} presente nas equações (11) e (12) foi positiva. Pode-se ainda perceber que a regressão a partir dos pontos observados produziu valores de COP negativos para certas combinações de argila e de ferro em DCB e que poderiam ocorrer em outras situações. No presente estudo não haviam amostras com proporções de Fe e argila intermediárias, que poderiam ter enriquecido a relação entre estas variáveis.

As equações de (8) a (19) representam as regressões lineares simples para as variáveis independentes escolhidas. Pode-se notar que os r^2 tenderam ser maiores para as equações de constante nula. Os melhores resultados ocorreram para COT, seguidos de argila, macroagregados, DMPu e $C - H_2O_2$. Para as duas últimas variáveis, contudo, a ANOVA registrou diferença significativa ($P < 0,05$) pelo teste-t, quando foi incluída constante.

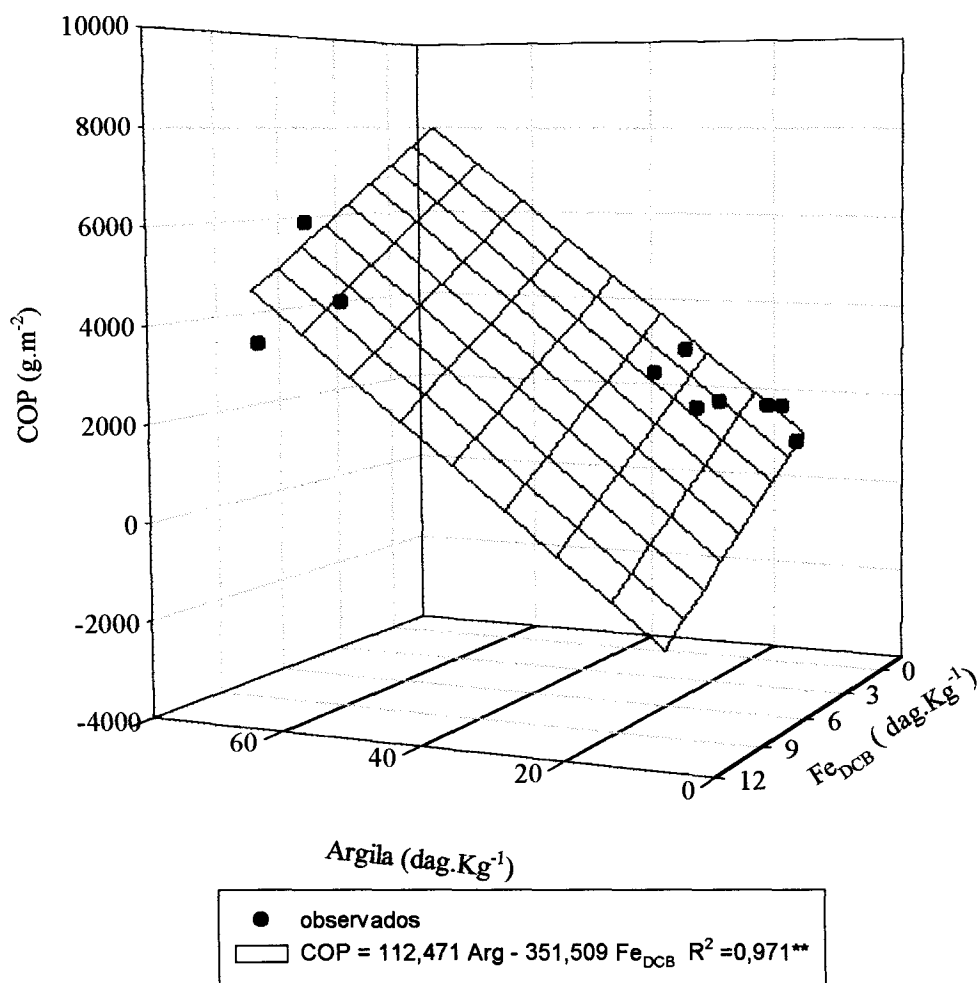


FIGURA 18. Relação entre o carbono passivo (COP) e o conteúdo de Argila e Ferro em DCB das amostras dos solos estudados.

A TABELA 8 apresenta os dados do C alocado no compartimento passivo pelo modelo para os solos estudados, bem como a determinação de uma fração mais resistente à decomposição por oxidação com H₂O₂ a 40 °C por 4 horas e posterior determinação química baseada em Tedesco et al. (1995). Nota-se que a maior diferença ocorreu no solo LBa de Vacaria e a menor, no SXd de Bagé. A mesma relação também pode ser observada na FIGURA 19, onde se verifica que a retirada do solo LBa melhorou sensivelmente a regressão entre os pontos (r^2 de 0,4321 para 0,8095).

A análise do C remanescente ao ataque de um oxidante fraco como o H_2O_2 a $40^\circ C$ por um tempo limitado a 4 horas baseia-se na idéia de oxidar o C não protegido, externo aos agregados do solo, buscando retratar o processo de decomposição do C que ocorre no solo. A relação obtida indica que este poderia ser um dos caminhos para a determinação direta da fração de C estável dos solos. Entretanto, a discrepância entre os dados observados nesta análise e os simulados pelo Century, especialmente no LBa, podem ser devidas tanto a falhas do modelo como do método analítico. Desta forma, não foi possível indicar o uso deste método para definir o COP do Century. As diferenças notadas entre eles, especialmente nos solos LBa, LVd1, LVd2, e VEO sugerem a necessidade de investigações futuras.

TABELA 8. Carbono orgânico passivo (COP) calculado pelo Century para os solos sob campo nativo estudados e o C remanescente da oxidação com H_2O_2 a $40^\circ C$ por 4 horas.

Solo	COP - Century	C - H_2O_2	Diferença	
		g.m ⁻²		%
LVaf	4433	4045	-388	-8,75
LVdf	3575	3617	+42	+1,17
LBa	6013	2477	-3536	-58,81
LVd1	1831	2467	+636	34,73
LVd2	2615	1913	-702	-26,84
PVd1	1113	977	-136	-12,22
PVd2	1942	1630	-312	-16,06
RLd	1873	1664	-209	-11,16
VEo	3088	2263	-825	-26,72
SXd	1830	1773	-57	-3,11

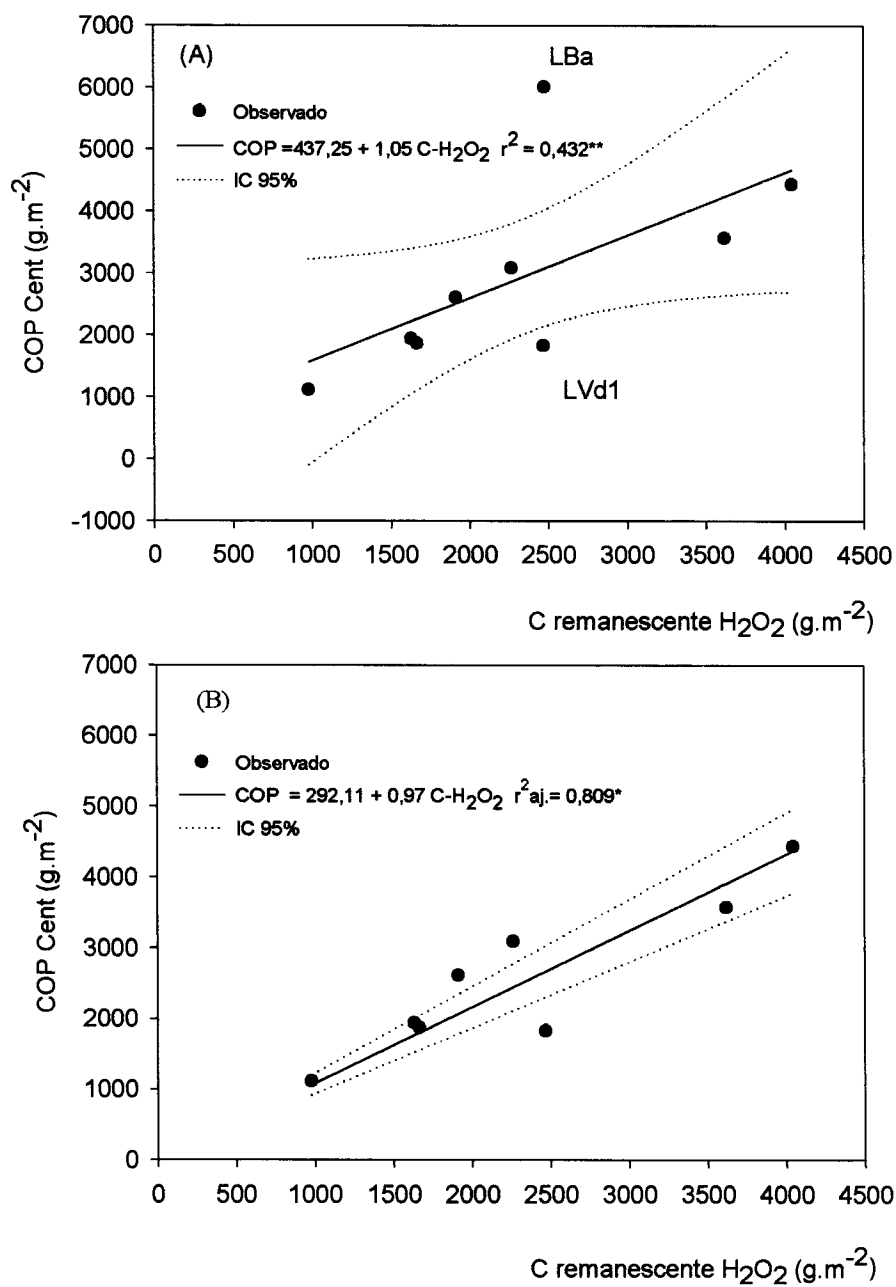


FIGURA 19. Relação entre o COP determinado pela análise com H_2O_2 a $40^\circ C$ e o COP calculado pelo Century v.4.0 para os solos sob campo nativo. Onde: (A) = regressão com LBa; (B) = regressão retirando o solo LBa.

5.4. CONCLUSÕES

Os conteúdos de carbono orgânico passivo (COP) calculados através do processo de parametrização do Century v.4.0 nos solos do Rio Grande do Sul foram diferenciados, oscilando entre 1113 g.m^{-2} , no solo PVd1, e 6013 g.m^{-2} , no LBa, com a proporção sobre o total variando de 39,7 a 68,6 %.

A comparação com os atributos do solo permitiu ainda concluir que o COP relaciona-se principalmente com os teores da fração argila e de óxidos de ferro.

O conteúdo total de C (COT) também variou, relacionando-se principalmente aos teores de argila e à percentagem de macroagregados.

6. ESTUDO 2 – USO DO MODELO CENTURY V. 4.0 PARA A INTERPRETAÇÃO DA DINÂMICA DE C E N EM EXPERIMENTOS DE MANEJO DE SOLOS DE LONGA DURAÇÃO

6.1. INTRODUÇÃO

O modelo Century (Parton et al., 1987 e Metherell et al. 1993), desenvolvido para o estudo da dinâmica e dos fatores que controlam a matéria orgânica do solo, tem mostrado acurácia em diversos biomas naturais e cultivados, tipos de solos e climas (Parton et al., 1994 e Smith et al., 1997). Nesta tarefa, no entanto, acaba por tornar-se muito complexo, envolvendo fatores que controlam a disponibilidade de nutrientes, crescimento vegetal, atividade microbiana e interações dos compostos orgânicos com a matéria mineral. Das interações entre eles resultam mecanismos de proteção coloidal e física de compostos orgânicos dentro de agregados, que por sua vez, afetam a sua dinâmica no solo (Jastrow e Miller, 1997; Golchin et al., 1994).

Decorrente dessa complexidade, o modelo vem recebendo inúmeras contribuições para o seu melhor funcionamento nos diferentes climas, solos e sistemas de manejo. Assim, Paustian et al., (1992), ao executar o modelo, alteraram a temperatura para 27 °C em uma região fria onde a temperatura média anual é de 5,4 °C. Desta forma melhoraram o ajuste das estimativas do modelo com os valores observados de matéria orgânica em um experimento de 34 anos. Os autores justificam esta atitude com base na própria lógica de funcionamento do modelo, em que, ao alterar a temperatura, todos os fluxos entre os compartimentos e as taxas de decomposição dos mesmos são modificados, resultando em saídas mais ajustadas à realidade experimental. Da mesma forma, Parfitt et al., (1997) sugeriram um fator relativo ao tipo de argila, para que o modelo expresse melhor a realidade em Andosolos, ricos em alofanas e

ferrihidrita, minerais estes com alta área superficial específica e elevada reatividade com substâncias orgânicas.

De um modo geral, os estudos com o modelo tratam de sistemas naturais ou com pastagens ou de sistemas cultivados, onde o revolvimento do solo é amplamente utilizado. Quando aplicado em solos onde ocorreu a mudança de sistemas convencionais para sistemas conservacionistas de agricultura, ele pode falhar em reconstituir o C do solo (Smith et al. 1997). Esta nova realidade, em que a recuperação de solos degradados promove a passagem de solos desestruturados para estruturados, certamente exigirá adaptações no modelo, incluindo algum fator para considerar os efeitos de proteção da matéria orgânica nos agregados recentemente formados.

No presente estudo, verificou-se em simulações preliminares que o modelo Century 4.0 (FIGURA 3), tende a superestimar o carbono orgânico total (COT) do solo sob preparos convencionais e subestimá-lo nos solos sob semeadura direta. Levantou-se então as hipóteses de que o coeficiente relativo ao preparo de solo, que modifica os parâmetros do modelo no mês de sua utilização, não é suficiente para representar a perturbação provocada pelo revolvimento do solo e que, por outro lado, a proteção gerada pelos solos sob sistemas recuperadores não é considerada pelo modelo.

Baseado nestas hipóteses, selecionou-se para estudo os passos do modelo os quais se acredita que sejam sensíveis às influências da alteração do preparo de solo e de adição de carbono pelas plantas. Estes passos estão relacionados com a taxa de decomposição dos compostos orgânicos do compartimento lento (COL), chamada de *DEC5*, e com os parâmetros de eficiência de conversão dos compostos orgânicos do compartimento ativo para lento. Entre eles, escolheu-se *PICO2B(2)*, ou seja, a declividade da equação linear $f(A)$, descrita no primeiro estudo e afetada pelo teor de areia.

Na verdade, esse coeficiente, associado à interceptação, regula o quanto a textura afeta a conversão do C do compartimento ativo para lento e passivo. Acredita-se que esta eficiência não deva ser determinada exclusivamente pela textura do solo. O tipo de argila dominante, em função dos diferentes graus de reatividade e área superficial específica (ASE), conforme Parfitt et al. (1997), ou seu estado de agregação (Emerson et al., 1986; Christensen, 1996), também concorrem para o fenômeno, por estarem relacionados com a proteção da matéria orgânica à atividade decompositora dos microorganismos do solo. Assim, a proteção física pode ser associada principalmente à

agregação, que é afetada tanto pela textura do solo como pelo manejo. Talvez o principal ponto deva-se a parte deste efeito sobre os processos de transformação da matéria orgânica do solo apresentar um caráter permanente e estar relacionado com a textura e mineralogia do solo, e parte, depender do estado de agregação proporcionado pelo manejo.

Para testar estas hipóteses, utilizou-se um experimento de manejo de longa duração com preparos de solo, sistemas de cultura e doses de nitrogênio (N) e os registros de adição de fitomassa e teor de COT na camada 0 – 20 cm entre 1985 e 1998. Executou-se o programa que contém o modelo usando os dados deste experimento e variáveis locais de solo e clima, aplicando-se várias combinações dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)* e selecionando-se, com base em superfícies de resposta, a que melhor estimou o COT observado em cada tratamento em 1998.

Obtida a melhor combinação para cada tratamento, executou-se novamente o programa para estudo da distribuição dos compartimentos do modelo (ativo/COA, Lento/COL e passivo/COP) e demais variáveis de saída que serão detalhadas neste estudo.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Descrição sucinta do experimento

O experimento se localiza no município de Eldorado do Sul, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A área, vegetada originalmente por campo nativo, foi ocupada por experimentos sob preparo de solo convencional entre 1970 e 1984, 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, preparo reduzido e semeadura direta, PC, PR e SD, respectivamente), e três seqüências culturais (aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho e aveia+ervilhaca/milho+caupi, AM, AVM e AVMC, respectivamente), e dois níveis de nitrogênio na cultura do milho (0 e 180 kg.ha⁻¹.ano⁻¹), em parcelas subdivididas. As espécies usadas apresentam a seguinte nomenclatura científica: aveia preta (*Avena strigosa*), milho (*Zea mays*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*).

O experimento sofreu algumas alterações ao longo do tempo. Até 1989, no caso das culturas, em lugar da ervilhaca foi usado o trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*). Já os níveis de N anteriores eram de $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, representando $138 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ na média do período de 1985 a 1998. Maiores detalhes sobre a condução do experimento podem ser obtidos em Bayer (1992), Bayer (1996) e Lovato (2001).

6.2.2. Tratamentos usados nas simulações

A seleção dos tratamentos foi determinada pela busca de variabilidade dos efeitos causados pelo manejo do solo, associando-se a capacidade de adição de carbono orgânico pelas plantas e a disponibilidade de nitrogênio, com a alteração dos níveis de proteção à atividade decompositora dos microorganismos pelo grau de revolvimento do solo. Para tanto, o estudo envolveu os oito tratamentos, apresentados na TABELA 9. Também foi acrescentado o campo nativo (CN), representando o manejo natural do solo e o cultivo de quinze anos sob preparo convencional de experimentos com colza e girassol (CG).

6.2.3. Caracterização do sítio de trabalho e do solo

O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (AVd) pelo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999), anteriormente classificado como um Podzólico Vermelho Escuro Distrófico, pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo (Streck et al., 1999). Corresponde a um Paleoudult na classificação americana (Soil Survey Staff, 1998), e a um Acrissolo Háptico, pela Legenda da FAO (FAO, 1990). O regime climático da região é de transição entre Cfa 1 e Cfa 2 de Köppen, com precipitação média de 1690 mm (BRASIL, 1973).

A caracterização do solo foi realizada como ponto de partida para as simulações. Usou-se a amostragem da camada 0-20 cm, dos tratamentos PCAM 0 e CN, e posterior determinação dos atributos físicos e químicos relevantes. Também foram associadas médias de resultados obtidos na área por outros trabalhos, especialmente os compilados por Lovato (2001).

O solo da camada arável (0-20 cm) foi amostrado com pá-de-corte. As amostras foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas a 2 mm (terra fina seca ao ar -TFSA) e 0,5 mm, e acondicionadas em potes plásticos para posterior análise.

Para a determinação de carbono orgânico, foram usadas as amostras peneiradas a 0,5 mm, pelo método descrito por Tedesco et al. (1995), que consiste numa oxidação com solução sulfocrômica e aquecimento externo, seguida de titulação com sulfato de ferro II.

TABELA 9. Tratamentos usados na parametrização do modelo Century v.4.0.

Sigla	Preparo de Solo e Sistemas de Sucessão de culturas	N ¹	Adição de C ²
		(Kg.ha ⁻¹)	(g.m ⁻² .ano ⁻¹)
<i>período anterior ao experimento</i>			
CN	sem preparo de solo, campo nativo sob pastejo leve	0	-
CG	experimentos com colza e girassol preparo convencional	55 ³	-
<i>ensaio experimental</i>			
PCAM 0N	preparo convencional, aveia/milho	0	411
PCAVMC 0N	preparo convencional, aveia+ervilhaca/milho+caupi	0	725
SDAM 0N	semeadura direta, aveia/milho	0	411
SDAVMC 0N	semeadura direta, aveia+ervilhaca/milho+caupi	0	725
PCAM 138N	preparo convencional, aveia/milho	138	679
PCAVMC 138N	preparo convencional, aveia+ervilhaca/milho+caupi	138	814
SDAM 138N	semeadura direta, aveia/milho	138	679
SDAVMC 138N	semeadura direta, aveia+ervilhaca/milho+caupi	138	814

¹ Adição média anual de N ao solo como fertilizante químico calculada para o período de 1985 a 1998 (Lovato, 2001).

² Adição média de carbono pelos sistemas de sucessão calculada para o período de 1985 a 1998 (Lovato, 2001).

³ Valor estipulado arbitrariamente.

As determinações da distribuição do tamanho de partículas no solo foram realizadas através da metodologia da pipeta, descrita pela EMBRAPA (1997), usando NaOH como dispersante. A densidade do solo foi medida pelo método de Forsythe (1975), usando-se anéis volumétricos.

Destacam-se a textura franco-argilo-arenosa da camada arável, com 213 g.Kg⁻¹ de argila, e a mineralogia, dominada por caulinita e mica (Kämpf, comunicação pessoal). Os teores de carbono usados como referência foram de 4800 g.m⁻².ha⁻¹ para o campo nativo e 3720 g.m⁻².ha⁻¹ para o início do experimento em 1985.

6.2.3.1. Descrição do programa Century

Usou-se a versão 4.0 para UNIX e portada para DOS, cuja representação esquemática de seu ambiente, pode ser observada no APÊNDICE 1. Seu fluxo envolve programas e arquivos onde se encontram a descrição do sítio ou local (*LOCAL.100*) e do esquema de manejo (**.SCH*). O arquivo local detém todas as informações iniciais de localização geográfica, clima e solo do sítio que será trabalhado. E no arquivo do esquema de manejo são informadas todas as atividades de manejo, organizadas de modo qualitativo, quantitativo e temporal. Assim, é possível dividir o manejo em blocos, e construir a história de manejo do sítio num arquivo único. Este arquivo de manejo consulta as informações necessárias armazenadas em arquivos acessórios. É neste grupo de arquivos que estão parâmetros de cada cultivo, cultura, fertilização, irrigação, adubação orgânica, uso de fogo, colheita, floresta, remoção de floresta, e pastejo, bem como dados de séries históricas de clima.

Algumas variáveis devem ser obrigatoriamente fornecidas ao programa, enquanto que outras, como a distribuição dos compartimentos de C, podem ser parametrizados via modelo para o início das simulações. Neste caso, executa-se uma simulação com manejo constante por um tempo longo, denominada execução de equilíbrio, onde todas as variáveis de saída se estabilizam.

Alguns parâmetros do modelo dificilmente são alterados pelo usuário, compondo o arquivo *FIX.100*. Neste arquivo são armazenadas, por exemplo, as taxas de decomposição dos compartimentos de carbono e os coeficientes da equação $f(A)$ que foram alterados neste trabalho. Este arquivo varia de acordo com o bioma que se está trabalhando. Para as simulações, foi usado o *FIX.100* correspondente ao bioma *mesic/subhumid grassland*, relativo ao campo nativo em regime de temperatura méxico e precipitação subúmida.

O Century opera de modo interligado através de cinco programas: CENTURY, que contém o modelo e executa a simulação; FILE100, que permite editar os arquivos acessórios (*CROP.100*, *FERT.100*, *GRAZ.100*...) e o arquivo local *<SITE.100>*; EVENT100, que gerencia o manejo, criando e editando arquivos **.SCH*; LIST100, que permite listar as variáveis de saída desejadas, produzindo arquivos **.LIS*; e, finalmente, o GETORG, que cria e organiza o arquivo de base para as simulações (*NEW_SITEFILE.100*), substituindo o arquivo local na simulação final.

6.2.3.2. Procedimentos de execução do programa

O passo inicial para a execução foi criar os arquivos de local e de manejo, e acrescentar os demais dados referentes às culturas, cultivos, pastejo, entre outros (Apêndices 10, e 14 a 18) aos respectivos arquivos acessórios. Para os dados de temperatura atmosférica e de precipitação pluviométrica do arquivo local, escolheram-se os valores médios de trinta anos para Porto Alegre (Moreno, 1961). Também os valores médios dos teores de areia, silte e argila obtidos por Silva e Mielniczuk (1997) e Fernandes (1998) foram adotados como padrão para o arquivo local: 52,5 dag.kg⁻¹ de areia, 25,0 dag.kg⁻¹ de silte e 22,5 dag.kg⁻¹ de argila. Para a densidade do solo, assumiu-se a média dos valores apresentados por Bayer (1996) e repetidos na análise de caracterização do solo sob campo nativo: 1,54 g cm⁻³.

A partir deste ponto, o curso dos procedimentos usados pode ser observado na FIGURA 20. Como nem todos os parâmetros exigidos para executar o modelo estavam disponíveis, usou-se uma execução de equilíbrio por seis mil (6000) anos, já referida anteriormente. Nesta simulação, o programa parametrizou os dados, inclusive dos compartimentos de carbono. No final, obteve-se uma distribuição constante das variáveis de saída para o manejo natural do solo, que foi campo nativo. Para esta execução, o arquivo local foi denominado *PVd2EQ.100* (Apêndice 10). A seguir usou-se o GETORG para criar um novo arquivo local (**.100*), baseado no resultado da execução de equilíbrio e produzindo o arquivo *NEW_PVd2EQ.100*, o qual foi renomeado para *SJBASE.100* e usado na terceira execução, denominada de base. Nesta execução de base usou-se ainda o manejo em campo nativo pelo período de 1900 a 1969. O objetivo desta simulação foi evitar que o modelo produzisse variáveis de saída oscilantes no início da simulação propriamente dita. Para a simulação final, usou-se o arquivo local de base (*SJBASE.100*) e um arquivo de manejo correspondente para cada tratamento experimental.

As adições médias de C pelas culturas para o período experimental foram calculadas baseadas na soma do C presente na parte aérea (*AGCACC*) e raízes (*BGCACC*), subtraída do C exportado nos grãos (*CGRain*), quando foi o caso, para a estação de crescimento de cada uma delas no decorrer de cada ano. Este cálculo corresponde à quantidade de C determinada por Lovato (2001) e é diferente do valor produzido pela variável *CINPUT*, que é um acumulador anual de todas as entradas de C no sistema, considerando outras fontes de adição.

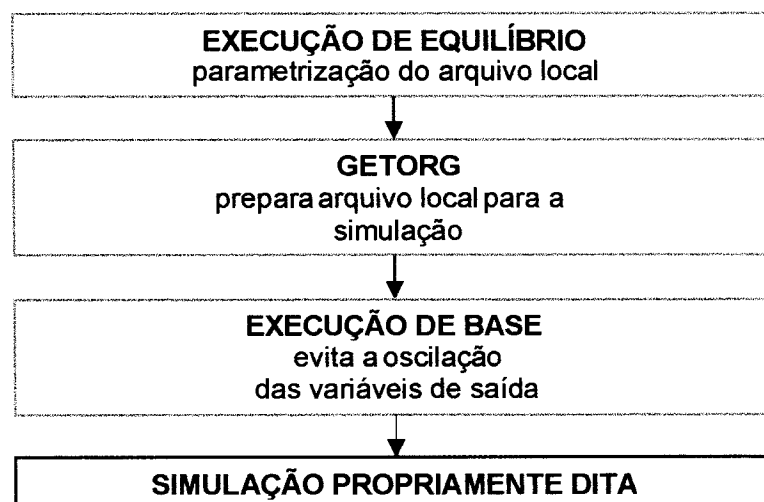


FIGURA 20. Seqüência de atividades usadas para a produção das simulações.

Na primeira etapa, as adições do campo nativo eram desconhecidas. Então usou-se o artifício de forçá-las a serem tais que o COT resultante fosse o mesmo determinado no solo sob campo nativo, partindo-se do pressuposto que na prática o COT tenha se mantido estável neste manejo. Isto foi feito primeiramente pela alteração da variável *PRDX(1)* do arquivo de culturas *CROP.100*, que representa a produção potencial de C pela cultura por mês. O mesmo procedimento foi repetido para ajustar os dados aos 15 anos de lavoura (1970 a 1985), sobre os quais também não se dispõe de informações suficientes, mas buscando o COT do início do período experimental. Já para a simulação propriamente dita, o ajuste das adições foi em relação aos valores definidos na TABELA 9, independentemente da quantidade de carbono total (COT) do solo obtida. Em raros casos foi necessário adicionar N no manejo, além de alterar o *PRDX(1)* de forma a garantir a produção de C desejada.

Deve-se destacar que as etapas do manejo sob campo nativo e de quinze anos de lavoura foram mantidas fixas neste trabalho, ou seja, não tendo sido usados para a comparação proposta pelo estudo (Apêndices 17 e 18). Sua inclusão deveu-se apenas para permitir a observação da história de cada manejo.

Na TABELA 10 encontram-se as principais características de manejo usadas para simular cada tratamento do ensaio de referência. Ela resume o conteúdo de cada um dos arquivos de esquema de manejo (**.SCH*), como o exemplificado no Apêndice 17. É necessário destacar que não foi incluída irrigação no manejo do solo, embora tenham sido feitas irrigações por aspersão na área durante o desenvolvimento do milho. Contudo, usou-se a opção de impedir que o déficit hídrico afetasse o rendimento de grãos

das plantas. Isto foi feito acertando o parâmetro *HIWSF* (fator de estresse sobre o índice de colheita). Também foi considerado como se houvesse sempre ervilhaca na área, pela necessidade de facilitar as simulações, embora se reconheça que podem ter ocorrido diferenças quanto à fixação simbiótica de N e adição de biomassa. Contudo, as adições das culturas geradas pelo Century foram ajustadas aos valores médios obtidos no período de 13 anos do experimento, o que contorna parcialmente o problema.

TABELA 10. Práticas de manejo de solo adotadas para as simulações com o modelo Century 4.0.

Mês	Tratamentos									
	0 Kg N.ha ⁻¹ .ano ⁻¹				138 Kg N.ha ⁻¹ .ano ⁻¹					
	preparo convencional		semeadura direta		preparo convencional		semeadura direta			
	AM	AVMC	AM	AVMC	AM	AVMC	AM	AVMC		
Jan										
Fev	----- Senescência culturas verão / Colheita dos grãos -----									
Mar	----- Herbicida / Rolo-faca -----									
Abr	----- Semeadura direta culturas inverno -----									
Mai										
Jun										
Jul										
Ago										
Set	Senescência culturas inverno ¹	Revolvimento do solo	Senescência culturas inverno	Herbicida	Rolo-faca	Senescência culturas inverno	Revolvimento do solo	Senescência culturas inverno	Herbicida	Rolo-faca
Out	Semeadura das culturas de verão		Semeadura direta das culturas de verão			Semeadura das culturas de verão	46 kgN.ha ⁻¹	Semeadura direta das culturas de verão	46 kgN.ha ⁻¹	
Nov							92 kgN.ha ⁻¹			92 kgN.ha ⁻¹
Dez	----- Perda de solo 0,01g.m ⁻² -----									

¹ Último mês de crescimento das culturas de inverno - comando LAST.

6.2.4. Determinação dos parâmetros a serem utilizados

A existência de diferenças entre os valores de COT estimados e observados em testes preliminares levou à necessidade de identificar pontos do modelo em que pudessem estar ocorrendo falhas em retratar o processo das transformações dos compostos de carbono no solo. Assim, confrontou-se os principais passos do modelo com o conhecimento dos mecanismos envolvidos com a resistência dos compostos orgânicos à decomposição microbiana.

Sabe-se que essa resistência à decomposição se relaciona a interações com superfícies minerais - a chamada proteção química; com a proteção física, e à própria

recalcitrância química da molécula. E, de acordo com Christensen (1996), estes mecanismos atuam simultaneamente, dificultando a individualização dos seus efeitos. Nessa análise, constatou-se que o modelo considera apenas a textura do solo, representada pelo teor de areia na equação $f(A)$, para definir a eficiência de conversão do C presente no compartimento ativo (COA) para o lento (COL), quando deveria também levar em conta os outros fatores envolvidos. Entende-se que tanto a proteção química ou coloidal como a proteção física são retratadas parcialmente pelo teor de areia do solo. Contudo, acredita-se que o manejo exerce uma influência considerável, especialmente sobre a proteção física e esta deveria estar contemplada no modelo. Dentre os parâmetros fixos da equação $f(A)$, acreditou-se que a declividade seria promissora para interferir no processo de modelagem.

Outro ponto que foi levantado se relaciona com o coeficiente de preparo de solo. O modelo interfere nas taxas de decomposição no mês do revolvimento (cultivo) e incorpora parte do C superficial quando o manejo envolve preparo de solo. Aparentemente este efeito não está sendo suficiente para representar a perturbação provocada pelo revolvimento do solo, levando a uma necessidade de revisão das taxas de decomposição dos compartimentos. Assim, a falha na estimação do COT possivelmente esteja ligada em maior intensidade ao COL. Por esta razão, optou-se por trabalhar com o *DEC5*, parâmetro fixo que afeta a taxa de decomposição deste compartimento. Além disso, a proteção gerada pelos solos sob sistemas recuperadores, que não é considerada pelo modelo, reforça a atenção sobre esses dois pontos: *PICO2B(2)*, que influencia as entradas de C no compartimento lento, e *DEC5*, que afeta as saídas.

Esta etapa do trabalho teve por objetivo definir as combinações mais adequadas de *DEC5* e *PICO2B(2)* em cada tratamento para produzir as simulações propriamente ditas na etapa de validação. Um experimento fatorial de simulação com 6 níveis de *DEC5* e 3 níveis de *PICO2B(2)* foi desenvolvido. Para *DEC5* foram testados os valores 0,15; 0,20 (padrão); 0,25; 0,30; 0,35; 0,40 e para *PICO2B(2)*, de 0,60; 0,68 (padrão); 0,74. Para cada combinação, foi feito o ajuste dos *PRDX(1)*, de forma que as adições permanecessem iguais às do tratamento testado (TABELA 9). Geraram-se superfícies de resposta pela relação das duas variáveis independentes, *DEC5* e *PICO2B(2)* com o COT estimado. Os resultados obtidos foram submetidos a regressões múltiplas, com o objetivo de determinar a combinação mais adequada de ambos os parâmetros para a

simulação em cada tratamento. Considerou-se promissoras as combinações em que a equação de regressão produziu o COT estimado igual ao COT observado.

6.2.5. Estudo comparativo das variáveis de saída

Após a definição dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)* adequados para cada sistema estudado, deu-se início ao trabalho com as simulações propriamente ditas. Os tratamentos definidos na TABELA 9 foram simulados de 1985 a 2150, perfazendo uma execução de 165 anos, de acordo com os resultados obtidos com as superfícies de resposta. Também foram realizadas simulações com os parâmetros padrão usados pelo modelo.

Os blocos de campo nativo (1900 – 1969) e de colza e girassol em preparo convencional (1970 – 1984) não fizeram parte do estudo comparativo entre as simulações, por não se dispor de informações mais detalhadas acerca do seu manejo. Entretanto, foram simulados com os parâmetros padrão do modelo e anexados fixos a todas as simulações, por serem úteis para reconstruir a história do solo.

Os dados de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), obtidos por Freitas (1988), Bayer (1992, 1996), e Lovato (2001), foram usados para confrontar os resultados produzidos pelas simulações.

Dedicou-se especial atenção à análise de cortes no tempo, por permitirem identificar se o modelo estaria retratando as variações que o C sofreu durante período experimental e extrapolar estas alterações para períodos mais longos. Assim, o campo nativo em 1965 foi incluído para ter-se uma idéia da distribuição das variáveis de saída para o sistema com manejo natural. O ano de 1985, por retratar o estado inicial do solo do ensaio. Já 1998 foi considerado o marco dos efeitos da alteração do manejo na área, permitindo comparar os valores simulados pelo modelo com os resultados de Lovato (2001). Também foi incluído o ponto final da execução, em 2150, para ilustrar o comportamento dos sistemas a longo prazo (165 anos).

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1. Carbono orgânico do solo

6.3.1.1. Ajuste dos coeficientes *DEC5* e *PICO2B(2)*

As falhas de estimativa do COT para o experimento, verificadas em testes preliminares realizados para os tratamentos sem adubação nitrogenada, levaram à necessidade de promover o ajuste dos parâmetros fixos *DEC5* e *PICO2B(2)*, relacionados ao COL (FIGURA 3). O primeiro refere-se à taxa de decomposição do COL, determinando o fluxo de saídas do compartimento, ao passo que *PICO2B(2)* consiste na declividade da equação $f(A)$, regulando a eficiência de conversão do COA em COL.

6.3.1.2. Escolha da combinação mais adequada dos parâmetros

Os resultados obtidos com as simulações encontram-se nas FIGURAS 21 e 22, as equações de regressão que descrevem as superfícies de resposta estão na TABELA 11.

As equações de regressão múltiplas entre o COT do solo estimado pelo modelo e as variáveis *DEC5* e *PICO2B(2)* (TABELA 11) apresentaram elevados coeficientes de determinação, superiores a 0,96. Estas equações foram usadas para definir a combinação mais adequada dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)*. Como a influência de *PICO2B(2)* sobre o COT estimado foi menor, optou-se por mantê-lo padrão (0,68) e alterar apenas *DEC5* para cada tratamento. Desta forma, calculou-se a melhor combinação de *DEC5* com *PICO2B(2)*, substituindo-se COT estimado nas equações de regressão pelos respectivos valores de COT observados em 1998 por Lovato (2001), e *PICO2B(2)*, por 0,68, cujos resultados encontram-se na TABELA 12.

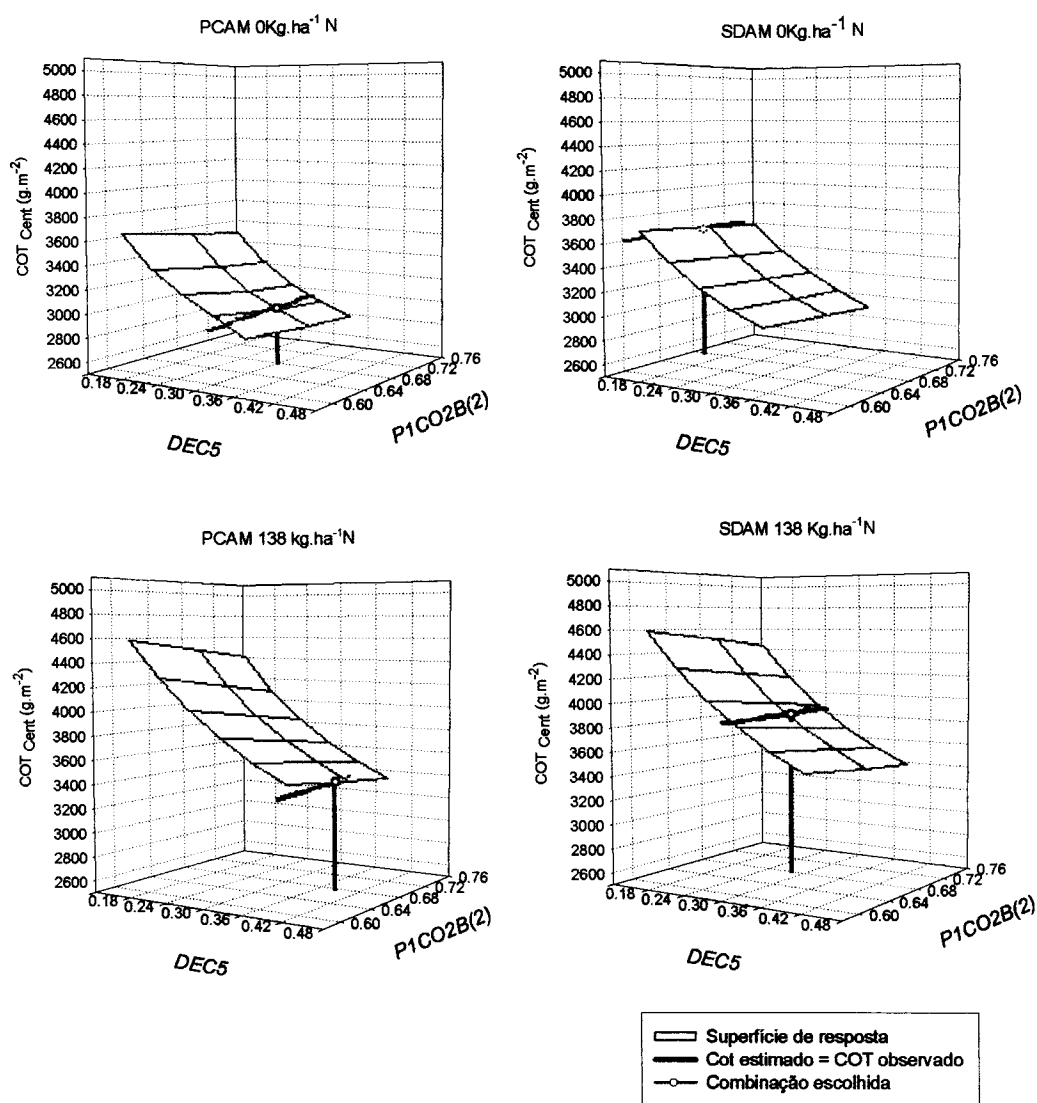


FIGURA 21. Superfícies de resposta do carbono orgânico total (COT) na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) para as simulações com o modelo Century v.4.0, usando-se variações dos parâmetros *DEC5* e *P1CO2B(2)* do *FIX.100* na sucessão aveia – milho (AM), em sistemas de preparo de solo e nível de adubação nitrogenada.

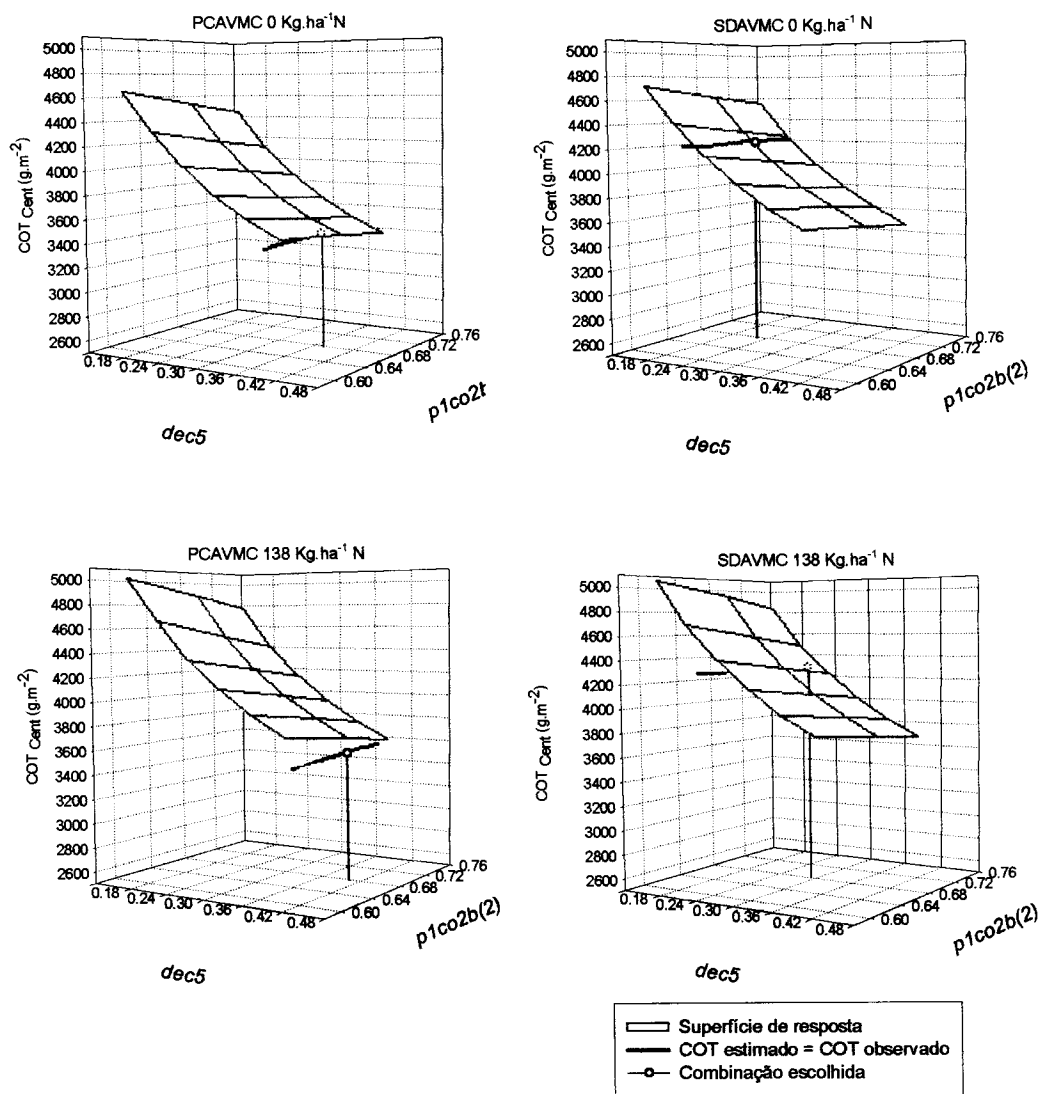


FIGURA 22. Superfícies de resposta do carbono orgânico total (COT) na camada 0–20 cm do Argissolo Vermelho Distrófico (AVd) para as simulações com o modelo Century v.4.0, usando-se variações dos parâmetros *DEC5* e *PICO2B(2)* do *FLX.100* na sucessão aveia + ervilhaca – milho + caupi, em sistemas de preparo de solo e nível de adubação nitrogenada.

TABELA 11. Equações de regressão múltipla do carbono orgânico total (COT) em função dos parâmetros fixos *DEC5* e *PICO2B(2)* do modelo Century v. 4.0 para os tratamentos estudados.

Tratamento	Equação de Regressão	R^2_{ajustado}
	0 Kg.ha ⁻¹ N	
PCAM	$COT = 46,028668 - 8,302878 PICO2B(2) - 34,8322 DEC5$	0,9634**
PCAVMC	$COT = 59,257773 - 12,053209 PICO2B(2) - 43,16259 DEC5$	0,9695**
SDAM	$COT = 44,882553 - 5,383311 PICO2B(2) - 34,107667 DEC5$	0,9763**
SDAVMC	$COT = 58,880441 - 10,310968 PICO2B(2) - 42,609333 DEC5$	0,9847**
	138 Kg.ha ⁻¹ N	
PCAM	$COT = 58,296545 - 11,411813 PICO2B(2) - 42,352552 DEC5$	0,9757**
PCAVMC	$COT = 64,720076 - 14,33864 PICO2B(2) (2) - 47,444857 DEC5$	0,9717**
SDAM	$COT = 56,895915 - 9,192793 PICO2B(2) (2) - 41,779257 DEC5$	0,9778**
SDAVMC	$COT = 63,835185 - 12,393322 PICO2B(2) (2) - 46,744438 DEC5$	0,9733**

TABELA 12. Valores de *DEC5* eleitos para o uso nas simulações com o modelo Century v. 4.0 para cada tratamento estudado.

Tratamento	Nitrogênio (Kg.ha ⁻¹ N)	
	0	138
PCAM	0,30	0,38
PCAVMC	0,37	0,40
SDAM	0,14	0,28
SDAVMC	0,22	0,29

Nas FIGURAS 21 e 22, a combinação escolhida de ambos os parâmetros está representada pela linha vertical, ao passo que a linha sobre cada superfície de resposta demarca as diversas combinações possíveis de *DEC5* e *PICO2B(2)* que igualariam COT estimado ao COT observado em 1998. Comparando os pontos da simulação que descrevem esta linha e os produzidos com os parâmetros padrão, nota-se que a superestimação no sistema de preparo convencional é intensificada pela adubação e mesmo pelo uso de leguminosas. Isto pode indicar que a maior conversão do C adicionado em COT no modelo pode estar relacionada com algum desajuste no Submodelo do Nitrogênio, uma vez que as adições simuladas foram iguais às médias observadas nos 13 anos de experimento.

Comparando os sistemas AM (FIGURA 21) e AVMC (FIGURA 22), nota-se que a adubação nitrogenada proporcionou um efeito maior da variação do *DEC5* sobre o COT estimado, traduzido pelo aumento da inclinação da superfície de resposta para AM em face de suas culturas não serem beneficiadas pela fixação biológica de N (FBN), o que torna o N um fator limitante. Essa resposta ao N aplicado como adubo certamente se deve ao aumento das adições em função da maior disponibilidade de N no solo.

Verificou-se que o COT estimado pelo modelo foi mais sensível às variações do *DEC5* do que do *PICO2B(2)*. A análise de variância de todas regressões indicou que a variável *DEC5* e a constante apresentaram diferenças altamente significativas ($P < 0,01$), bem como *PICO2B(2)*, com exceção do sistema SDAM, em que as diferenças foram significativas para $P < 0,05$. Os valores de *DEC5* combinados a *PICO2B(2)* de 0,68 usados para estimar os valores de COT observados em 1998 constam na TABELA 12. Constatou-se que os sistemas sob preparo convencional exigiram *DEC5* maiores que o padrão de 0,20; 0,30 e 0,37, sendo o mesmo efeito observado quando foi adicionado nitrogênio (0,38; 0,40; 0,28; 0,29), levando à suposição de que o parâmetro *DEC5* seja dependente da quantidade de C adicionada ao solo. Por outro lado, nos sistemas com semeadura direta o comportamento foi diverso: para SDAM, o *DEC5* de 0,14 foi menor do que o padrão usado pelo Century, ao passo que em SDAVMC, obteve-se um valor ligeiramente superior, de 0,22.

Os aumentos exigidos para o ajuste das simulações foram coerentes com os mecanismos que devem se processar no solo. A adição de uma maior quantidade de resíduos deve aumentar a quantidade de material orgânico que fica desprotegido e passível de se tornar substrato para a atividade de microorganismos, aumentando a taxa de decomposição do compartimento lento (COL). A maior disponibilidade de N, além de induzir o aumento da produção de biomassa pela maior disponibilidade de N, também deve reduzir a relação C/N e intensificar a velocidade de decomposição. A redução do revolvimento do solo, por outro lado, deve diminuir a velocidade de decomposição do COL em comparação ao preparo convencional, porque o sistema sob semeadura direta propicia maiores condições à proteção física à decomposição (Feller e Beare, 1997; Hayes e Himes, 1986).

6.3.1.3. Dependência do *DEC5*

Pôde-se notar pela TABELA 12 que o parâmetro *DEC5* foi dependente do sistema de preparo de solo e da disponibilidade de nitrogênio. A suposição de que as adições poderiam estar influenciando o *DEC5* necessário ao ajuste da estimação do COT pode ser confirmada na FIGURA 23.

A equação de regressão linear entre a adição anual de C, avaliada pela variável *CINPUT*, e o *DEC5* indica que *DEC5* seria de 0,226 na ausência de adição e o aumento de uma unidade de C adicionado ao solo exigiria o aumento do *DEC5* em 2 decamilésimos para o preparo convencional. Já no sistema de semeadura direta, verificou-se um aumento na inclinação da reta, de forma que, a cada unidade de adição de C incrementada, o *DEC5* elevou-se em 3 decamilésimos. Entretanto a intercepção foi de 0,047, ou seja, esse seria o valor de *DEC5* na ausência de adição de C. Comparando-se os dois sistemas de preparo, com a mesma adição de C, pode-se dizer que a *DEC5* será menor para SD. Pode-se também reafirmar que o potencial de adição de C pelo sistema foi determinante para o ajuste do parâmetro *DEC5*, que também foi influenciado pelo grau de revolvimento de solo.

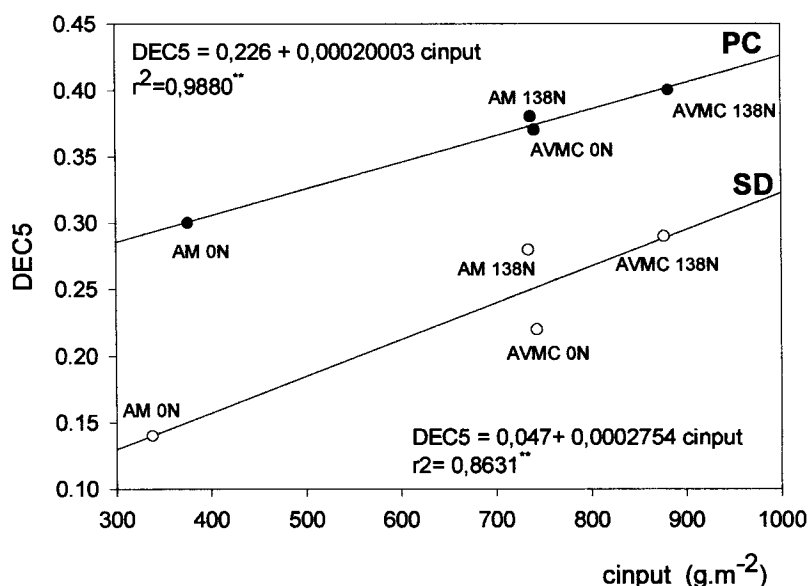


FIGURA 23. Relação entre as adições de C ao solo determinadas pela variável *CINPUT* sobre os parâmetros fixos *DEC5* do modelo Century v. 4.0 selecionados para as simulações. SD = semeadura direta; PC = preparo convencional; AM = aveia/milho; AVMC = aveia+ervilhaca/milho+caupi; 0N = sem adubação nitrogenada; 138 N = 138 KgN.ha⁻¹.

Como já foi comentado, o que mantém os compostos carbonados no COL é o tempo de ciclagem compatível, entre 20 e 50 anos. Para Parton et al. (1987) isto é obtido pela proteção física à decomposição, além de uma certa complexidade das moléculas. Assim, o aumento do estoque de C no solo, devido à redução do seu revolvimento, decorre principalmente da proteção física gerada pelo aumento da hierarquia de agregação (Golchin et al., 1994; Feller e Beare, 1997). Entretanto, uma adição maior deve influenciar tanto a proteção física como a velocidade do fluxo de C no sistema. Assim, se mais C é adicionado no mesmo sistema de preparo de solo ou de sucessão de culturas, maior a quantidade de substrato para a decomposição primária do material orgânico, e potencialmente deve ocorrer aumento da taxa de decomposição do COL. É possível observar ainda que os sistemas AM 0N, por disporem menos N no solo, apresentaram os menores *DEC5*, tanto em PC como na SD. Em contrapartida, os sistemas AVMC 138N exigiram *DEC5* maior, por causa de seu maior potencial de produção de biomassa, induzido pela maior disponibilidade de N, e menor relação C/N, que estimulariam a decomposição.

6.3.1.4. Variáveis de saída de carbono orgânico

A apresentação das simulações com os parâmetros fixos padrão contrapostos aos modificados tem por objetivo verificar se houve redução dos problemas de simulação constatados nos testes iniciais com os tratamentos N0. Conforme foi mencionado, estas simulações foram desenvolvidas para o período de 1985 a 2150, perfazendo 165 anos de manejo do solo, com os mesmos tratamentos usados no ensaio experimental. Os dados observados por Lovato (2001) foram usados como referência para avaliar o desempenho por tratamento de cada execução do Century v.4.0 para o ano de 1998.

6.3.1.5. Carbono orgânico total do solo (COT)

A variação do COT no tempo apresentada na FIGURA 24 comprova as dificuldades de simulação já comentadas anteriormente. No caso dos tratamentos sem adubação nitrogenada, o modelo com *DEC5* padrão falhou em simular o comportamento observado a campo por Lovato (2001) e Bayer (1996). Este fato foi mais marcante para os sistemas que envolveram fixação simbiótica de nitrogênio (SDAVMC e PCAVMC), porque além do problema da precisão, simularam uma tendência de queda no COT que não correspondeu à realidade. Já nos tratamentos com adubação nitrogenada, o modelo exagerou os efeitos sobre o COT, superestimando-os para todos os manejos.

Quando simulou-se usando os *DEC5* escolhidos pelas superfícies de resposta, o comportamento foi mais coerente com as respostas verificadas por aqueles autores. Apesar disso, ainda ocorreram problemas de precisão, que podem estar relacionados com algum desajuste no submodelo do N.

Os dados de COT, em cortes definidos do tempo, e apresentados na TABELA 13, foram obtidos pelas simulações com o Century e podem ser confrontados às adições de C ao solo e aos dados obtidos por Lovato (2001). Foram escolhidos dois anos para representar estes cortes: 1998 e 2150. O primeiro representa o final do período experimental avaliado por Lovato (2001) e cujos efeitos foram estimados a longo prazo com o modelo unicompartmental de Woodruff (1949). Já 2150 representa o final do período de 165 anos para os diferentes sistemas de manejo simulados com o Century v. 4.0. Cabe também destacar que as adições de C observadas corresponderam à medida do C contido na biomassa da parte aérea, acrescida de 30% correspondente ao sistema radicular e exudatos, conforme Lovato (2001). Para a reprodução do valor observado no processo das simulações, usou-se a soma do C das raízes e parte aérea das culturas, subtraindo-se o C exportado nos grãos, quando foi o caso. Assim, a adição objetivada foi a média das adições anuais obtidas pelo seguinte cálculo para o período de 1985 a 1998.

$$C \text{ adicionado} = AGCACC + BGCACC - CGRAIN \quad [3]$$

A variável de saída *CINPUT* apresentada na TABELA 13, contudo, reflete o total de C adicionado ao solo no ano, superando esse valor calculado.

As adições de C pelas culturas estimadas pelo Century com *DEC5* padrão (0,20) apresentaram problemas para os tratamentos com AVMC 0N, cujos valores ficaram aproximadamente $300 \text{ gN.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, aquém dos observados no período de 1985 a 1998. Possivelmente a alteração dos *DEC5* acelerou a mineralização do compartimento lento no submodelo do N (Metherell et al., 1994), que pode ser visto no APÊNDICE 3. Por outro lado, a modificação do *DEC5* não gerou maiores efeitos para os tratamentos com adubação nitrogenada. Isto deve ter-se relacionado à não ocorrência de limitações ao crescimento vegetal pelo N nestes manejos, segundo o modelo. Assim, a mudança da velocidade de decomposição do compartimento lento não se refletiu em maior produção de biomassa. Apesar disso, o modelo superestimou as adições observadas tanto nas execuções padrão como nas modificadas. Esta resposta provavelmente esteja ligada à resposta das culturas ao N disponível, que poderia estar superestimado.

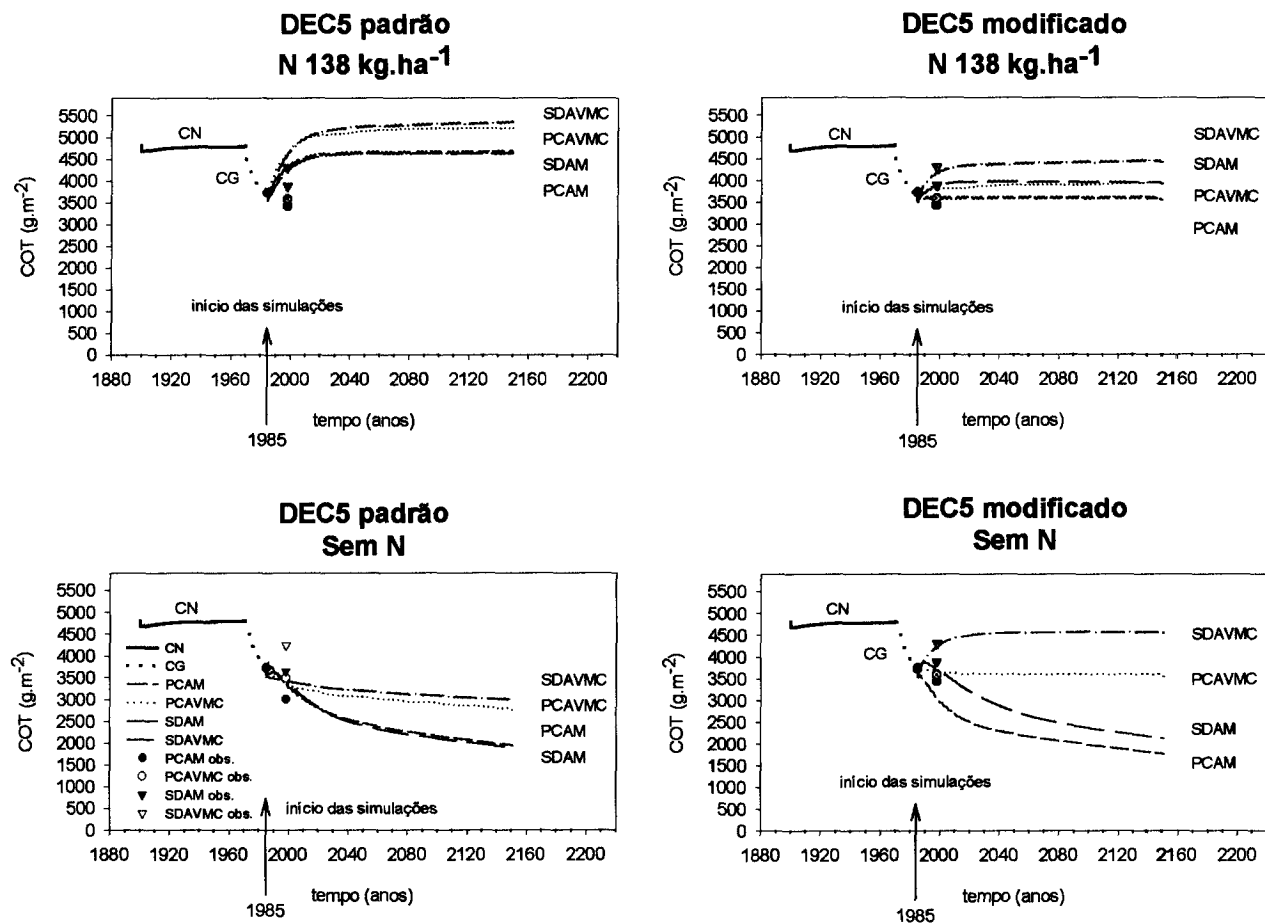


FIGURA 24. Dinâmica do carbono orgânico total do solo simulado pelo Modelo Century v.4.0 com *DEC5* padrão e modificada para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas e adubação nitrogenada no Argissolo Vermelho Distrófico do ensaio experimental contraposto aos dados observados em 1985 e 1998 por Lovato (2001).

TABELA 13. Carbono orgânico total (COT) observado para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (AVd) do experimento e simulado pelo Century, com os parâmetros do *FIX.100* padrão e *DEC5* modificado, e por Woodruff nos anos de 1998 e 2150.

N	TRAT.	DEC 5	Adição de C			1998			2150			Variação				
			Obs. ¹	Est. 1998 ²	Est. 2150 ³	CENTURY			WOODRUFF			C ₂₁₅₀	Ce	COT ₂₁₅₀ -COT ₁₉₈₅ ⁹		
						Cest. ⁴	Cobs. ⁵	Dif.	Cest. ⁶	Cobs. ⁵	Dif.				CENT ⁷	WOOD ⁸	Dif.	absoluto	relativo
(kg.ha ⁻¹)			(g.m ⁻²)												%	
<i>FIX.100</i> PADRÃO																
	CN	0,20	-	596	596	4803	4800	+03	-	-	-	4806	-	-	+3	+0,06
	PCAM	0,20	411	376	169	3359	2994	+365	2957	2994	-37	1937	1962	-25	-1783	-47,9
	PCAVMC	0,20	725	433	328	3372	3489	-117	3458	3489	-31	2766	3480	-714	-954	-25,6
	SDAM	0,20	411	357	154	3416	3645	-229	3729	3645	+84	1886	3319	-1433	-1834	-49,3
	SDAVMC	0,20	725	436	356	3422	4238	-816	4315	4238	+77	2966	5841	-2875	-754	-20,3
0 N	<i>FIX.100</i> MODIFICADO															
	PCAM	0,30	411	376	161	3031	2994	+37	2957	2994	-37	1753	1962	-209	-1967	-52,9
	PCAVMC	0,37	725	743	683	3659	3489	+170	3458	3489	-31	3582	3480	+102	-138	-3,7
	SDAM	0,14	411	338	164	3713	3645	+68	3729	3645	+84	2122	3319	-1197	-1598	-43,0
	SDAVMC	0,22	725	743	710	4230	4238	-8	4315	4238	+77	4558	5841	-1283	+838	+22,5
<i>FIX.100</i> PADRÃO																
	PCAM	0,20	679	746	648	4314	3423	+891	3415	3423	-8	4626	3086	+1540	+906	+24,4
	PCAVMC	0,20	814	884	763	4645	3574	+1071	3639	3574	+65	5203	3882	+1321	+1483	+39,9
	SDAM	0,20	679	734	643	4229	3884	+345	3982	3884	+98	4600	5613	-1013	+880	+23,7
	SDAVMC	0,20	814	881	764	4588	4305	+283	4530	4305	+225	5311	6629	-1318	+1591	+42,8
138 N	<i>FIX.100</i> MODIFICADO															
	PCAM	0,38	679	737	642	3596	3423	+173	3415	3423	-8	3569	3086	+483	-151	-4,1
	PCAVMC	0,40	814	881	760	3800	3574	+226	3639	3574	+65	3931	3882	+49	+211	+5,7
	SDAM	0,28	679	734	643	3853	3884	-31	3982	3884	+98	3934	5613	-1679	+214	+5,8
	SDAVMC	0,29	814	877	759	4135	4305	-170	4530	4305	+225	4426	6629	-2203	+706	+19,0

¹ Média observada das adições das culturas de 1985 - 1998 (Lovato, 2001).

² Entrada anual de C no solo estimada pelo Century v.4.0 através de *CINPUT*. Média de 1985 - 1998.

³ Entrada anual de C no solo estimada pelo Century através de *CINPUT* para 2150.

⁴ Carbono orgânico total estimado pelo modelo Century v.4.0 para 1998

⁵ Carbono orgânico total observado no experimento (Lovato, 2001)

⁶ Carbono orgânico total estimado pelo modelo Woodruff para 1998 (Lovato, 2001)

⁷ Carbono orgânico total estimado pelo modelo Century v.4.0 para 2150

⁸ Carbono orgânico total no equilíbrio estimado por Woodruff (Lovato, 2001)

⁹ COT equivalente a 3720 g.m⁻² na camada 0 - 20 cm em 1985 (Lovato, 2001)

Contrapondo-se as adições médias estimadas nos primeiros treze anos e no final das simulações, apresentadas na TABELA 13, constata-se sua redução, independentemente do *DEC5* padrão ou modificado, refletindo-se nos valores de COT atingidos em 2150. Nos sistemas com menor disponibilidade de N, esta diminuição foi mais drástica, destacando-se a sucessão AM 0N, com -57,2 % no preparo convencional e -51,5 % na semeadura direta, quando o *FIX.100* foi modificado. Esta redução foi sensivelmente menor nos sistemas 0N, mas beneficiados com FBN: -8,1 % no PCAVMC 0N e - 4,4 % no SDAVMC 0N. O uso de adubação nitrogenada foi especialmente importante para o sistema AM, possibilitando restringir as quedas nas adições de C para 12,9 % no PCAM 138N e 12,4 % na SDAM 138N. Nos 165 anos de manejo simulados com os sistemas AVMC 138N, as quedas foram de 13,7 % no PC e de 13,4 % na SD. Como seria de se esperar, embora as perdas em proporção pareçam maiores nos sistemas adubados, percebe-se que os valores absolutos de adição de C foram superiores para os tratamentos AVMC sem adubação em 2150. Por fim, ainda cabe destacar que as adições no modelo Woodruff são constantes no tempo, ao contrário do Century, e que os valores médios de adição do experimento também foram empregados nas simulações realizadas por Lovato (2001).

De um modo geral, a alteração do *DEC5* diminuiu os desvios entre os valores de COT simulados com o Century e os observados em 1998. Esta redução, contudo, não foi suficiente para garantir desvios menores que os obtidos com o modelo Woodruff na ausência de adubação. Em parte isto se deve a este último ser empírico e de parametrização mais simplificada. Para os tratamentos 138N, entretanto, os desvios foram ligeiramente menores, passando de +380, no Woodruff, para +198, no Century.

Os valores de COT simulados pelo Century em 2150 foram comparados ao Ce obtido por Lovato (2001) em cada um dos manejos estudados. No referido trabalho, o tempo de meia vida calculado para esses tratamentos ficou entre 14, para o PC, e 26 anos, para a SD.

Analisando a modificação do *DEC5* nas simulações, nota-se que a melhoria dos ajustes registrada em 1998 também se refletiu em 2150. Assim, como era de se esperar, os valores mínimos de COT ocorreram no sistema revolvido e com menor potencial de adição: PCAM 0N (1753 gC.m⁻²). Este resultado correspondeu a uma expectativa de queda de 52,9% do C em relação a 1985. Se for levado em consideração o solo sob manejo de campo nativo, com 4800 gC.m⁻², esta queda seria de 63,5 % do C original. A

maior quantidade de C estocada na camada 0-20 cm foi prevista para o sistema SDAVMC 0N, correspondendo a um incremento de 22,5 % em relação ao início do experimento. Entretanto, foi insuficiente para atingir os valores apresentados no manejo natural sob campo nativo, estabilizando num patamar 5 % abaixo daquele: 4558 gC.m⁻². Apesar disto, a simulação demonstrou que o uso da fertilização nitrogenada foi dispensável quando o sistema combinou culturas leguminosas eficientes em FBN e a redução do revolvimento do solo, e que foi possível promover a recuperação dos estoques de carbono de um solo degradado.

6.3.1.6. Distribuição dos compartimentos de carbono

No Century v. 4.0, o COT é dividido em oito compartimentos, de acordo com o tempo médio de ciclagem (taxas de permanência) e com características de decomposição da matéria orgânica do solo (Kelly et al., 1997). Escolheu-se avaliar apenas o efeito dos manejos sobre os compartimentos de solo: ativo (*SOMIC(2)* ou COA), lento (*SOM2C* ou COL) e passivo (*SOM3C* ou COP). Desta forma, não foram discutidos os efeitos sobre os compartimentos de adição de C: estrutural e metabólico, de superfície e do solo (*STRUCC(1)*, *METABC(1)*, *STRUCC(2)*, e *METABC(2)*); bem como o C microbiano superficial ou *SOMIC(1)*, representados na FIGURA 3. Deve-se ainda ressaltar que a variável escolhida para representar o COT foi *SOMTC*, que inclui os compartimentos metabólico e estrutural do solo além do COA, COL e COP. Assim, o COT apresentado nas tabelas a seguir não corresponde à soma simples dos três compartimentos de solo. Os valores de COA, COL e COP são apresentados na TABELA 14 para os anos de 1998 e 2150, e nas FIGURAS 25, 26, 27 e 28, para os anos de 1965, 1985, 1998 e 2150.

O crescimento da participação do COP sobre o total para um dado solo pode ser considerado indicador do seu nível de degradação, significando o maior consumo do COA e COL, que são compartimentos mais importantes para a liberação de nutrientes e ciclagem de C, em função das maiores taxas de decomposição. Analisando-se os cortes no tempo isoladamente, percebe-se que a modificação do *DEC5* afetou principalmente os compartimentos COA e COL em 1998. No final das simulações, entretanto, nota-se que inclusive o COP teve seu tamanho influenciado nos manejos com AVMC 0N. Desta forma, as alterações de curto prazo geradas pela maior ou menor velocidade de decomposição no COL, de acordo com o manejo, refletiram-se na distribuição dos

compartimentos a longo prazo, devido à maior disponibilidade de N produzida pelo modelo, que proporcionou o aumento das adições de C pelas culturas desta sucessão. Neste caso, o N foi um fator limitante ao crescimento vegetal.

Comparando o sistema PCAM 0N, que mais degradou o COT do solo, com o sistema sob campo nativo, verifica-se que o COT diminuiu em 63,5%, devido a uma retração de 71,4% do COA, 87,6% do COL e 42,1% do COP. Mas quando a referência foi o início do período experimental, a redução do COT em 52,9% foi devida à diminuição de 64,8% do COA, 81,3% do COL e 31,7% do COP.

O potencial de perda do COT em 180 anos de cultivo (1970 – 2150) simulado no sistema colza-girassol por 15 anos, seguido do sistema aveia-milho sem N em preparo convencional (CG-PCAM 0 N) foi de 63,5% ou , se comparado ao estoque do sistema natural, sob campo nativo. A passagem do sistema em preparo convencional com girassol e colza por 15 anos (CG), para aveia e milho em preparo convencional (PCAM 0N) equívaleu a uma perda de 1967 g.m⁻² C ou 52,9% do COT em 165 anos (1985 a 2150), principalmente pela redução do COL (-31,7 %). Contudo, a adição de nitrogênio permitiu reduzir esta perda para 4,1% ou 151 g.m⁻² de C. Por outro lado, o sistema de maior adição e sem revolvimento (SDAVMC 0N) proporcionou um aumento da ordem de 22,5% (+838 g.m⁻²) do COT em relação ao conteúdo avaliado em 1985, indicando o potencial do uso de culturas leguminosas no sistema de manejo, resultado que não foi superado pela adição de N (SDAVMC 138N), onde este aumentou 19,0%.

TABELA 14. Distribuição dos compartimentos de carbono para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (AVd) do experimento, segundo estimativas do modelo Century, usando os parâmetros do *FIX.100* padrão e com *DEC5* modificado, nos anos de 1998 e 2150.

N	TRAT.	DEC5	Adição de C		1998				2150				
			Obs. ¹	Est. 85-98 ²	Est. 2150 ³	COA ⁴	COL ⁵	COP ⁶	COT ⁷	COA ⁴	COL ⁵	COP ⁶	COT ⁷
		(kg.ha ⁻¹)		(g.m ⁻²)		(g.m ⁻²)							
<i>FLX.100</i> PADRÃO													
0 N	CN	0,20	-	596	596	123	2445	2103	4803	123	2445	2106	4806
	PCAM	0,20	411	376	169	71	1142	2036	3359	34	420	1435	1937
	PCAVMC	0,20	725	433	328	74	1146	2035	3372	63	953	1647	2766
	SDAM	0,20	411	357	154	48	1276	2038	3416	17	396	1454	1886
	SDAVMC	0,20	725	436	356	57	1246	2037	3422	50	1132	1710	2966
<i>FLX.100</i> MODIFICADO													
0 N	PCAM	0,30	411	376	161	72	807	2042	3031	32	260	1415	1753
	PCAVMC	0,37	725	741	683	157	1174	2073	3659	150	1117	2070	3582
	SDAM	0,14	411	338	164	43	1587	2034	3713	18	613	1471	2122
	SDAVMC	0,22	725	743	710	110	1888	2061	4230	115	2197	2075	4558
<i>FLX.100</i> PADRÃO													
138 N	PCAM	0,20	679	746	648	138	1874	2060	4314	135	2199	2075	4626
	PCAVMC	0,20	814	884	763	168	2115	2070	4645	167	2546	2209	5203
	SDAM	0,20	679	734	643	97	1948	2055	4229	102	2359	2018	4600
	SDAVMC	0,20	814	881	764	125	2206	2065	4588	129	2817	2177	5311
	<i>FLX.100</i> MODIFICADO												
138 N	PCAM	0,38	679	737	642	143	1143	2070	3596	134	1143	2077	3569
	PCAVMC	0,40	814	881	760	134	1143	2077	3800	166	1267	2218	3931
	SDAM	0,28	679	734	643	166	1267	2218	3853	102	1686	2024	3934
	SDAVMC	0,29	814	877	759	102	1686	2024	4135	128	1930	2181	4426

¹ Média observada das adições das culturas de 1985 - 1998 (Lovato, 2001).

² Entrada anual de carbono no solo estimada pelo modelo Century v.4.0 através da variável *CINPUT*. Média de 1985 - 1998.

³ Entrada anual de carbono no solo estimada pelo modelo Century v.4.0 através da variável *CINPUT* para o ano de 2150.

⁴ Carbono orgânico ativo estimado pelo modelo Century v.4.0

⁵ Carbono orgânico lento estimado pelo modelo Century v.4.0

⁶ Carbono orgânico passivo estimado pelo modelo Century v.4.0

⁷ Carbono orgânico total estimado pelo modelo Century v.4.0

⁸ COT equivalente a 3720 g.m⁻² na camada 0 - 20 cm em 1985.

O comportamento dessas variáveis na história da área experimental para os manejos estudados também pode ser observado nas FIGURAS 25 a 28, para as simulações com *DEC5* modificada. Pode-se notar que o potencial de adição reduzido pela baixa disponibilidade de N no manejo PCAM 0N (FIGURA 25) associado ao revolvimento do solo provocou a queda acentuada do COT, basicamente devido ao consumo do COL (*SOM2C*), mas também do COP e COA. A aplicação de $138 \text{ KgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ na cultura do milho permitiu o aumento das adições anuais de C que tiveram como consequência a estabilização aproximada da quantidade de COT do solo ao redor de $3568 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$. Pode-se notar que o COL se manteve na faixa de 32,2% do COT quando foi aplicado N, ao passo que esta proporção foi de 14,9% na ausência de adubação. Outro dado importante refere-se ao compartimento passivo, que atingiu 80,7% do COT após 165 anos de manejo com PCAM 0N e 58,2% com 138N.

A manutenção da sucessão AM e a troca de preparo convencional por semeadura direta gerou os efeitos simulados na FIGURA 26. No manejo SDAM 0N observa-se inicialmente um aumento do COT como reflexo do crescimento do COL, sucedido por uma queda mais suave que no PC. Em 2150 o valor atingido foi de $2122 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$, embora ainda não se tenha observado uma tendência a estabilização no período simulado. Acompanhando-se a história de manejo, vê-se que a proporção do COP aumentou de 55,7% para 69,3% em 2150, enquanto que o COL passou de 37,4% para 28,9% no final da simulação. Pode-se depreender disso que o cessar da mobilização do solo pelo preparo significou a proteção de parte do C, principalmente COL, no interior dos agregados do solo e equívaleu a $369 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ no final do período simulado para as condições do local (TABELA 14). Já o aumento das adições anuais de C pela adubação nitrogenada alterou o comportamento do sistema, induzindo a um leve aumento do COL, e conseqüentemente, do COT, que estabilizou-se ao redor de $3934 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$.

Em relação às proporções entre os compartimentos, o ato de combinar o menor revolvimento do solo com o aumento das adições permitiu reduzir o consumo do COL, que participava com 28,9% no SDAM 0N para 42,9%, no SDAM 138N. Já em termos absolutos isto significou um aumento de $1073 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ no COL e de $553 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ no COP ao final dos 165 anos de simulação.

Quando o manejo sob preparo convencional envolveu culturas leguminosas associadas às gramíneas em sucessão, PCAVMC, o patamar de adição de C foi maior, resultando na dinâmica de compartimentos apresentada na FIGURA 27. Nota-se que o

COT passou de 1753 gC.m⁻² no PCAM 0N para 3582 gC.m⁻² no PCAVMC 0N em 2150. Esta diferença de 1829 gC.m⁻² pode ser creditada ao aumento da disponibilidade de N pela FBN e conseqüente ciclagem pela diminuição da relação C/N do material adicionado ao solo. Ainda assim, o COT decresceu levemente no período de 165 anos: na ordem de 3,71 %. Isto indica que a fixação de N impediu a queda dos níveis de C, que havia sido de 52,9 % no PCAM 0N (TABELA 14). No PCAVMC 0N o COP perfazia 55,7 % do total, contra os 80,7 % atingidos no PCAM 0N. E o COL, que ocupava 37,4 % em 1985, passou para 31,2 % do COT no final da simulação. Em termos absolutos, isto significa que o COL passou de 1391 gC.m⁻² para 1117 gC.m⁻² em 2150. Se comparado com o PCAM, o acréscimo no COL foi de 857 gC.m⁻², creditados à FBN e à ciclagem do C adicionado resultante da maior disponibilidade de N. A adubação nitrogenada produziu um leve aumento no tamanho do COT, de aproximadamente 9,7 % (TABELA 14), mas o comportamento geral foi semelhante ao observado no manejo sem N, provavelmente porque o nível de limitação à produtividade foi menor do que na sucessão AM. Em termos proporcionais, o efeito da adubação sobre o COL também foi pequeno: passou de 37,4 % em 1985 para 32,2 % em 2150.

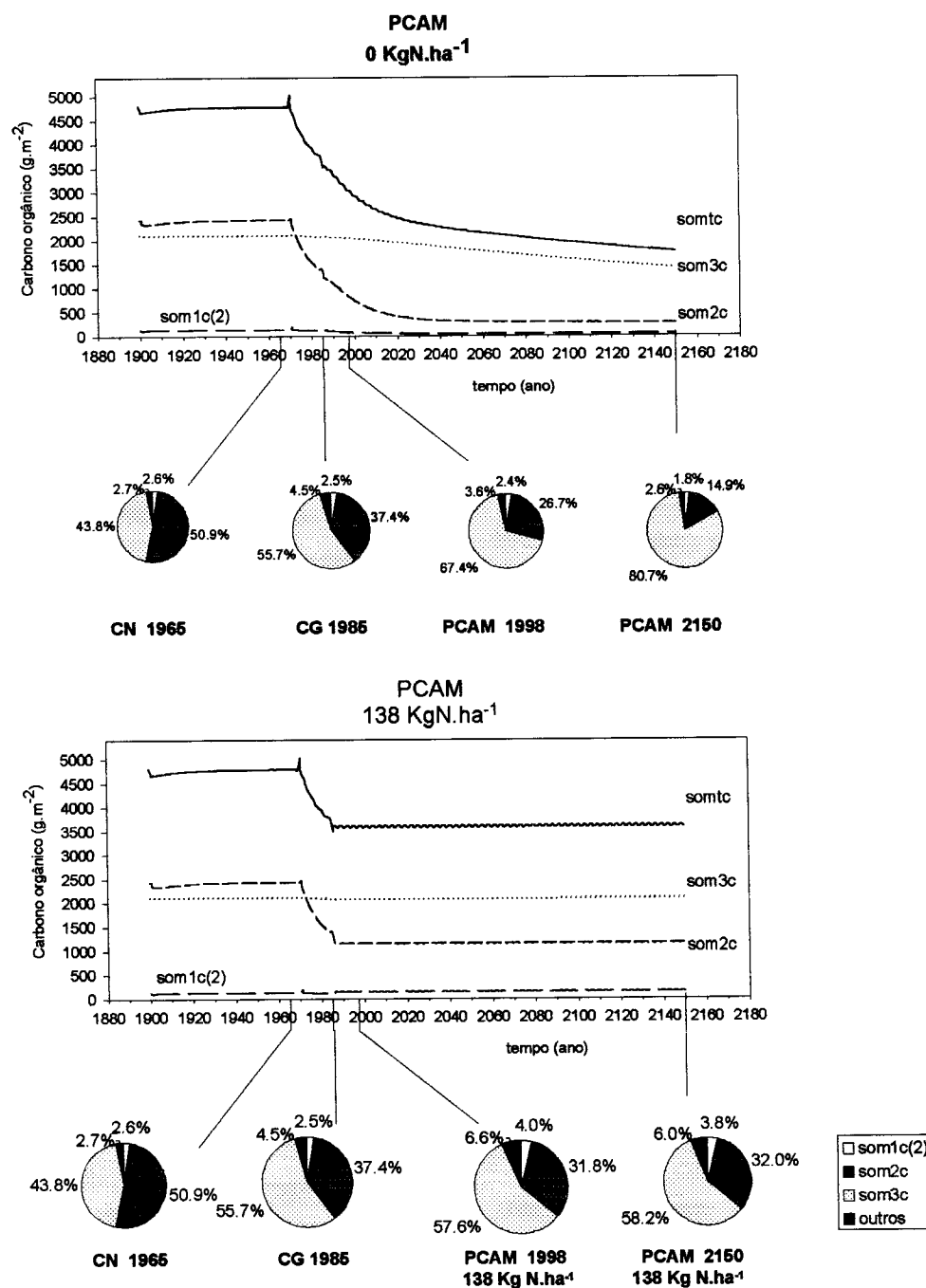


FIGURA 25. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional na sucessão aveia/milho sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; PCAM = preparo convencional aveia/milho; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono.

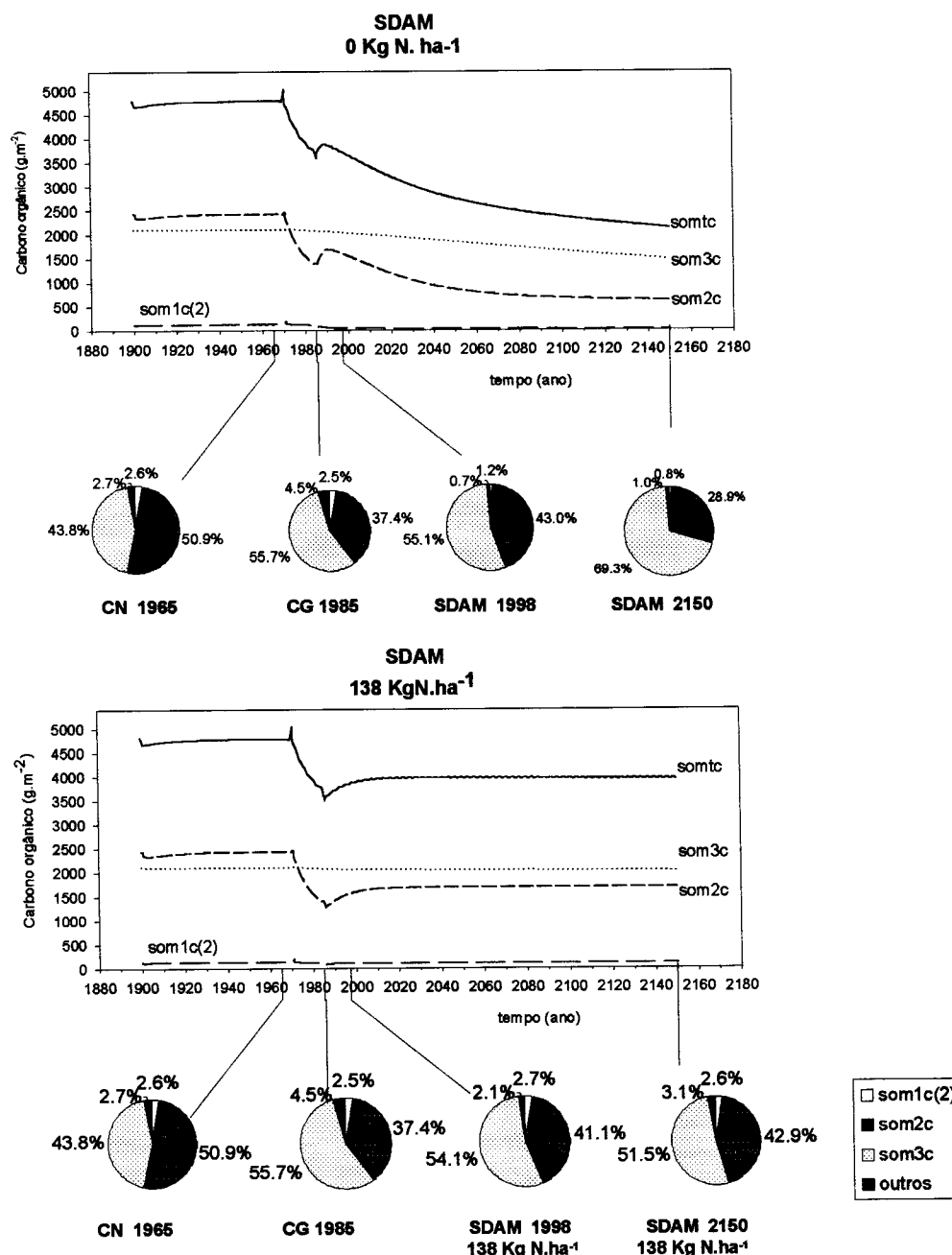


FIGURA 26. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob semeadura direta na sucessão aveia/milho sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; SDAM = semeadura direta na sucessão aveia/milho; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono.

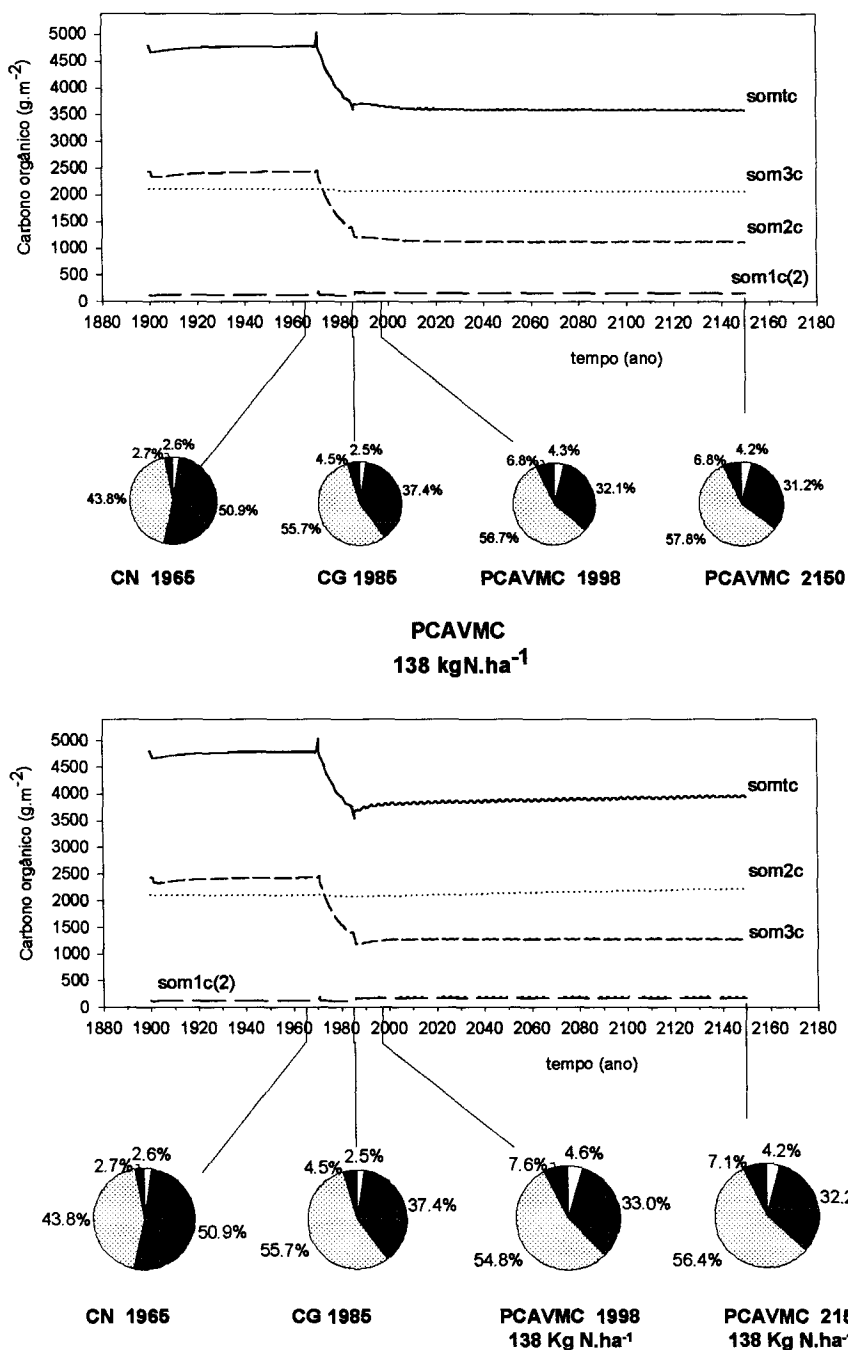


FIGURA 27. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional na sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi sem e com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; PCAVMC = preparo convencional aveia+ervilhaca/milho+caupi; *SOMIC(2)* = COA;

A substituição do preparo convencional por semeadura direta na sucessão com aveia +ervilhaca/milho+caupi (SDAVMC) proporcionou a dinâmica presente na FIGURA 28. Mesmo sem adubação, pode-se notar que este manejo proporcionou maior estoque de C do solo, já comentado, basicamente em consequência do aumento do COL, que passou de 37,4 % (1331 gC.m⁻²) para 43,6 % (2197 gC.m⁻²) em 2150. Isto significou um aumento do estoque de COL em 7,45 vezes, ou 1,6 para o COT. Na verdade, este manejo acumula os efeitos da proteção à decomposição gerados pelo cessar do revolvimento, e da maior adição e ciclagem de C, resultantes do aumento da disponibilidade de N pela inclusão de leguminosas. Como também já era esperado, a aplicação de 138 kgN.ha⁻¹.ano⁻¹ não causou maiores efeitos no COT e seus compartimentos para o manejo SDAVMC 138N.

6.3.2. Nitrogênio do solo

6.3.2.1. Nitrogênio total do solo (NT)

A dinâmica do NT do solo obtida através das simulações e comparada aos valores observados por Lovato (2001) encontra-se na FIGURA 29. Em todas as situações é possível notar que o NT foi superestimado pelo Century, mesmo no CN, indicando que este problema não está relacionado à FBN, ou preparo de solo, mas a algum passo no submodelo do N ou parâmetro de cultura no *CROP.100*. Nas simulações com *DEC5* padrão observou-se que o modelo apresentou um comportamento incoerente com as tendências obtidas por Bayer (1996) e Lovato (2001) nos tratamentos PCAVMC 0N e SDAVMC 0N em 1985, 1990, 1994 e 1998. Este problema foi resolvido com a alteração do *DEC5*, mas a superestimação do NT, não. Já a aplicação anual dos 138 kgN.ha⁻¹ no milho induziu ao acúmulo de NT em todos os sistemas de preparo e sucessão de culturas, como era esperado. Percebe-se que a quantidade de NT no início das simulações, em 1985, e inclusive nas simulações com *DEC5* modificado, foi superior aos 310 gN.m⁻² observados por Freitas (1988), indicando a necessidade do ajuste dos parâmetros do Century para o NT em trabalhos futuros. Mesmo no CN, simulado apenas com *FIX.100* padrão, e sem qualquer tipo de revolvimento de solo, os valores estão acima do esperado, se comparados com Lovato (2001).

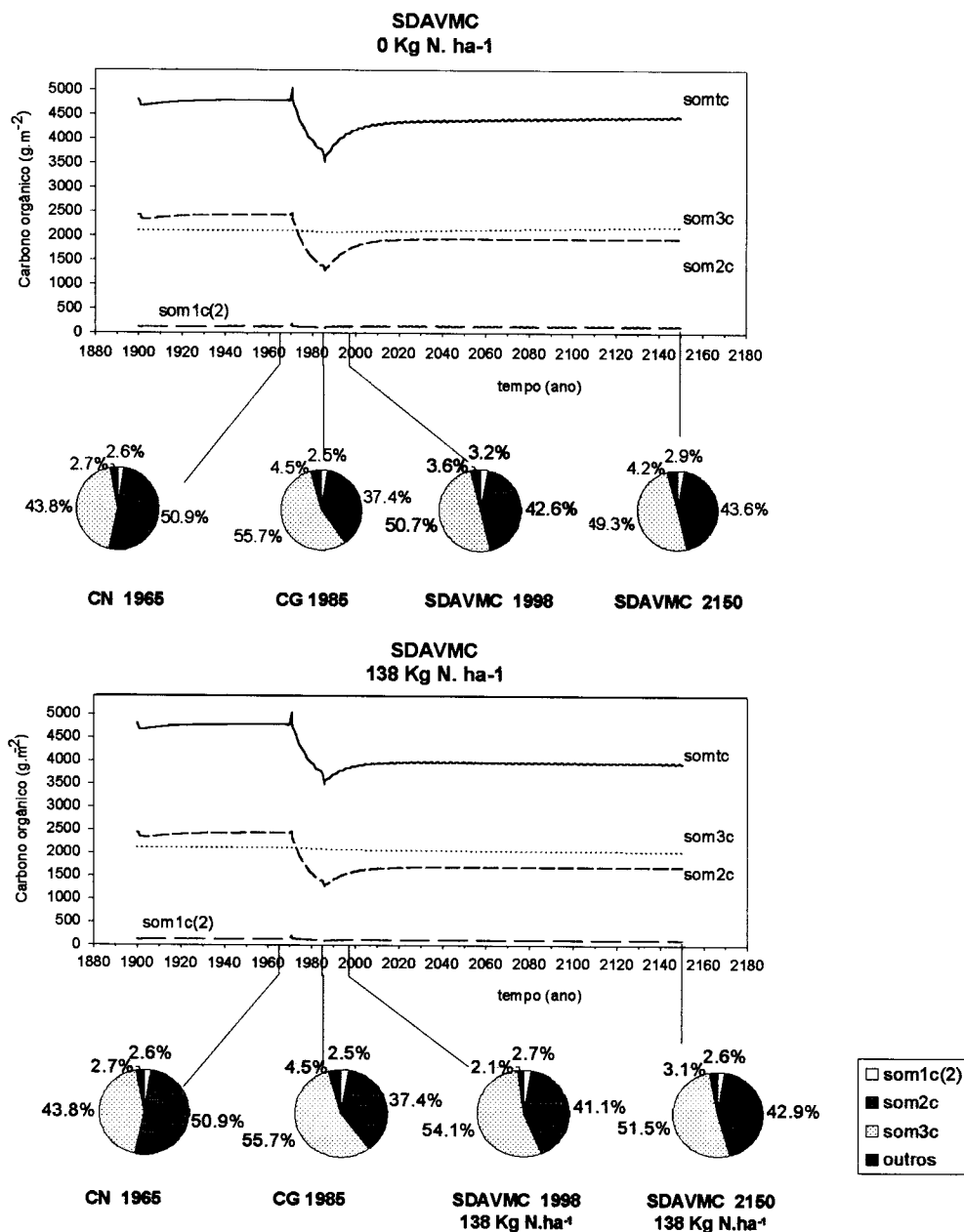


FIGURA 28. Dinâmica dos compartimentos de carbono associada à sua distribuição percentual em cortes no tempo para ARGISSOLO VERMELHO Distrófico sob semeadura direta na sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi (A) sem adubação nitrogenada e (B) com adubação nitrogenada, usando o Modelo Century v.4.0, com *DEC5* modificada. CN = campo nativo; CG = experimentos com colza e girassol em preparo convencional; SDAVMC = preparo convencional aveia+ervilhaca/milho+caupi; *SOMIC(2)* = COA; *SOM2C* = COL; *SOM3C* = COP; *SOMTC* = COT; outros = demais compartimentos de carbono.

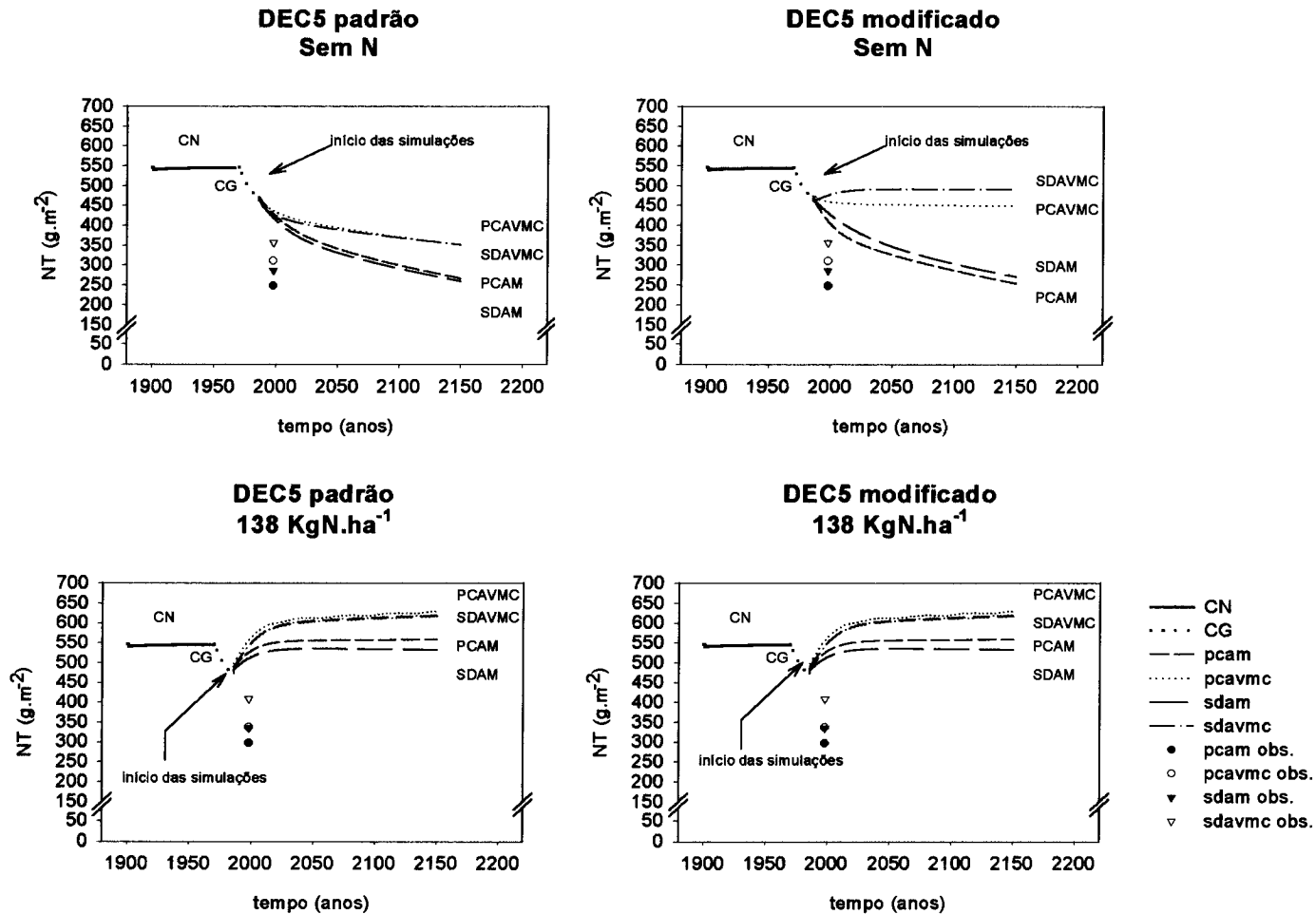


FIGURA 29. Nitrogênio Total (NT) obtido nas simulações com o modelo Century v.4.0 com *DEC5* padrão e modificada para o Argissolo Vermelho Distrófico (AVd) do experimento confrontados aos valores determinados por Lovato (2001) para os tratamentos com nitrogênio.

Os submodelos do C e N trabalham interligados, de forma que alterações feitas num deles são propagadas através do outro. Pode-se exemplificar este efeito pela liberação de N via mineralização. O submodelo do Nitrogênio mineraliza o N dos compartimentos apenas se houver liberação de CO₂ no compartimento correspondente no submodelo do Carbono. E este pode ter sua taxa de decomposição regulada pela disponibilidade do N, P e S.

Embora deslocada para valores de NT mais elevados, considerou-se que o comportamento geral da sua dinâmica nos manejos estudados foi aceitável, baseado na coerência com a modelagem realizada por Lovato (2001) para os sistemas PCAM e SDAVMC, com e sem adubação nitrogenada. Para a observação e discussão destes resultados, é necessário abstrair-se de seus valores absolutos, que também serão apresentados, e concentrar-se na tendência ao acúmulo ou perda de NT.

Pelas simulações do Century, os sistemas foram favorecidos pela FBN na ausência de adubação. O uso de semeadura direta no SDAVMC 0N propiciou um leve incremento do NT, de 476 gN.m⁻² para 490 gN.m⁻², enquanto que o sistema chegou a 448 gN.m⁻² no PCAVMC 0N em 2150, representando um leve declínio do valor inicial. Em contrapartida, os sistemas AM, baseados exclusivamente em gramíneas, apresentaram uma queda mais acentuada dos níveis de NT. No SDAM 0N, o NT chegou a 270 gN.m⁻², e a 254 g.m⁻², no PCAM 0N. Em ambos os casos, nota-se que os 165 anos de simulação não foram suficientes para atingir a porção estável da curva.

A aplicação de N permitiu aumentar o estoque de NT no solo, concordando com Lovato (2001), mas que também foi superestimado. Ainda assim, este efeito acentuou-se nos sistemas com AM na sucessão, por compensar a menor disponibilidade de N e induzir o aumento da produção de biomassa, e conseqüente ciclagem de N.

Na TABELA 15 pode-se analisar as conseqüências do uso dos diferentes manejos sobre a FBN e o NT do solo em 1998 e 2150 simulados com o modelo Century e confrontados ao trabalho de Lovato (2001). O autor calculou o N fixado subtraindo o N absorvido pela aveia ou milho do NT acumulado nas culturas de cobertura. Contudo, esta diferença encerra também o N absorvido devido à ciclagem, pois parte foi absorvida do solo, por causa do processo de mineralização do N aumentada pela FBN. A alteração do *DEC5* influenciou os valores de FBN obtidos via *SNFXAC(1)*. Quando não se aplicou N, a fixação subiu de 3,4 gN.m⁻².ano⁻¹ para 7,1 gN.m⁻², independentemente do preparo de solo. Sabe-se que o microclima propiciado pela semeadura direta beneficia a atividade de fixação de N pelos rizóbios, fato que o modelo foi incapaz de refletir com os ajustes realizados. Observou-se queda da FBN no *DEC5* padrão

TABELA 15. Nitrogênio Total (NT) observado para os sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas na camada 0-20 cm do ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) do experimento no ano de 1998 confrontando às estimativas pelo modelo Century, usando parâmetros padrão do *FIX.100* e com *DEC5* modificado, e por Woodruff para os anos de 1998 e 2150.

N	TRAT.	DEC5	FBN		NT 1998						NT 2150		NT2150-NT1985		
			Obs. ¹	Est. ²	CENTURY			WOODRUFF			CENT. ⁵	WOOD. ⁶	Variação ⁷		
					NT est. ³	NT obs. ⁴	Difer.	NT est. ⁵	NT obs. ⁴	Difer.			NT ₂₁₅₀	Ne	Difer.	abs.	Percent.
				(kg.ha ⁻¹) (g.m ⁻²) (g.m ⁻²) %											
<i>FIX.100</i> PADRÃO															
	CN	0,20	-	0,0	550	413	+137	-	-	-	551	-	-	+1	0,2
	PCAM	0,20	0,0	0,0	427	248	+179	262	248	+14	266	160	+106	-44	-14,2
	PCAVMC	0,20	14,0	3,4	436	310	+126	330	310	+20	350	346	+4	+40	+12,9
	SDAM	0,20	0,0	0,0	418	286	+132	297	286	+11	258	248	+10	-52	-16,8
	SDAVMC	0,20	11,9	3,4	426	357	+69	394	357	+37	350	555	-205	+40	+12,9
<i>FIX.100</i> MODIFICADO															
0 N	PCAM	0,30	0,0	0,0	410	248	+162	262	248	+14	254	160	+94	-56	-18,1
	PCAVMC	0,37	14,0	7,1	475	310	+165	330	310	+20	448	346	+102	+138	+44,5
	SDAM	0,14	0,0	0,0	431	286	+145	297	286	+11	270	248	+22	-40	-12,9
	SDAVMC	0,22	11,9	7,1	475	357	+118	394	357	+37	490	555	-65	+180	+58,1
<i>FIX.100</i> PADRÃO															
	PCAM	0,20	0,0	0,0	524	297	+227	302	297	+5	558	296	+262	+248	+80,0
	PCAVMC	0,20	10,8	0,1	555	337	+218	352	337	+15	625	370	+255	+315	+101,6
	SDAM	0,20	0,0	0,0	510	335	+175	379	335	+44	532	467	+65	+222	+71,6
	SDAVMC	0,20	9,2	0,2	541	408	+133	426	408	+18	616	523	+93	+306	+98,7
<i>FIX.100</i> MODIFICADO															
138 N	PCAM	0,38	0,0	0,0	485	297	+188	302	297	+5	486	296	+190	+176	+56,8
	PCAVMC	0,40	10,8	0,0	512	337	+175	352	337	+15	537	370	+167	+227	+73,2
	SDAM	0,28	0,0	0,0	492	335	+157	379	335	+44	495	467	+28	+185	+59,7
	SDAVMC	0,29	9,2	0,0	524	408	+116	426	408	+18	560	523	+37	+250	+80,6

¹ Fixação de Nitrogênio calculado para o experimento (Lovato, 2001)

² Nitrogênio fixado estimado pelo modelo Century v.4.0 para o ano de 1998

³ Nitrogênio total estimado pelo modelo Century v.4.0

⁴ Nitrogênio total observado em 1998 (Lovato, 2001)

⁵ Nitrogênio total estimado pelo modelo Century v.4.0 para o ano de 2150

⁶ Nitrogênio total no equilíbrio estimado pelo modelo Woodruff (Lovato, 2001)

⁷ Nitrogênio total equivalente a 310 g.m⁻² em 1985 (Lovato, 2001)

para $0,1 \text{ gN.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, no PCAVMC, e $0,2 \text{ gN.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, no SDAVMC, conforme seria esperado, quando usou-se 138 KgN.ha^{-1} no milho. A mesma foi nula para a *DEC5* modificada, em todos os manejos, certamente porque aumentou a disponibilidade de N. Como parte do N provém da mineralização, pelas variáveis *MINERL(camada,1)*, vide APÊNDICE 3, e o N é aplicado na cultura de verão, é possível que o modelo esteja falhando ao zerar a FBN nestes tratamentos. Para confirmar estas suposições, entretanto, seria necessário medir a FBN nos diversos tratamentos ao longo do ciclo das culturas, o que não foi objetivado neste trabalho.

Comparando o NT estimado pelo modelo com os valores determinados por Lovato (2001) no ano de 1998, verifica-se sua superestimação, cujo problema não foi corrigido pela alteração da *DEC5*. As estimativas de 1998 pelo Century foram de 33 a 65,3% superiores aos dados observados a campo nos tratamentos sem N, e de 28,4 a 63,3%, quando foi aplicado N no manejo do solo. Já para o modelo Woodruff, através do qual Lovato (2001) projetou as tendências dos sistemas, o ajuste foi mais acurado, variando no máximo em 13 % para SDAVMC 138N neste ano.

Observando-se os dados do final da simulação com o Century, vê-se que os desvios em relação ao Ne estimado, embora grandes, diminuíram com o uso do *DEC5* modificado. Assim, como foi necessário alterar os coeficientes de oxidação anual de COT ou NT (k_2) nas simulações com o modelo Woodruff no trabalho de Lovato (2001), o ajuste dos parâmetros no submodelo do N no Century teria provavelmente garantido melhores resultados para esta variável e mesmo outras correlatas.

Partindo-se da premissa que, embora exagerados, os valores simulados com o Century expressaram a tendência dos efeitos de cada manejo estudado, verifica-se que a variação do NT do solo no período foi dependente do manejo adotado. O uso de semeadura direta, de culturas fixadoras de N na sucessão e de adubação nitrogenada contribuíram para aumentar a quantidade de NT da camada 0 - 20 cm do solo, ou frear sua redução, conforme o caso. Esse efeito foi complementar, uma vez que a maior perda proporcional foi verificada no PCAM 0N (-46,6 %) e o maior acúmulo, no SDAVMC 138N (+17,6%).

6.3.2.2. Relação C/N e variáveis relacionadas à mineralização de N

O modelo Century usa a relação lignina/N para fazer a divisão do C entre os compartimentos de adição estrutural e metabólico, e o teor de lignina para conversão do C estrutural em COL, tanto no submodelo do C como do N. A relação C/N, por sua vez, é importante no controle das saídas de todos os compartimentos de N orgânico e mesmo no controle da velocidade de fluxo dos compartimentos de N mineral (total ou nas camadas), conforme pode ser observado no APÊNDICE 3. Como os submodelos atuam de modo interligado, pode-se afirmar que a relação C/N também vai controlar indiretamente o submodelo do C, basicamente porque regula a disponibilidade de N (mineralização *versus* imobilização). Assim, tanto as adições pelas culturas, que dependem do N, como as taxas de decomposição dos compartimentos poderão ser reduzidas se a quantidade de N for insuficiente para atingir a demanda de imobilização. Em outras palavras, a liberação de N por mineralização está associada à decomposição de algum compartimento de C e sua conseqüente liberação como CO₂ (Metherell et al., 1994).

Os dados apresentados na TABELA 16 demonstram o efeito dos sistemas de manejo sobre algumas variáveis ligadas à mineralização de N. Uma vez que o NT foi superestimado pelo modelo, ocorreu a subestimação da relação C/N, mesmo com o ajuste da DEC5. Este deve ser o ponto-chave para encontrar a causa dos desbalanços verificados no NT. Na verdade, a subestimação da relação C/N é simultaneamente uma causa e conseqüência destes. De um lado ela regula a mineralização dos compartimentos e propaga este efeito para o submodelo do C, gerando mais adição no sistema planta e maior NT, como já se mencionou. Mas também este maior NT, gera uma baixa relação C/N, que vai induzir a uma maior mineralização, e assim por diante. É possível que a causa deste desbalanço esteja nos parâmetros iniciais de relação C/N usados para as culturas (CN, CG, AM e AVMC) nessas simulações. Contribui para esta constatação o fato do NT no processo de parametrização executado com CN por 6000 anos também ter sido superestimado. Além disso, as perdas de N, representadas pela volatilização, lixiviação, e exportação pela colheita, não foram avaliadas neste trabalho e também poderiam estar contribuindo, por estarem sendo subestimadas.

TABELA 16. Variáveis relativas à mineralização de N e quantidade absorvida pelas plantas estimadas pelo modelo Century, com parâmetros padrão do *FIX.100* e com *DEC5* modificado, do modelo Woodruff, e observadas para os sistemas de preparo de solo, sucessão de culturas e adubação nitrogenada no ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (AVd) do experimento.

N	TRAT.	DEC5	1998		2150		1985-1998			2150				
			Century		Century	Woodruff	Century			Century				
(kg.ha ⁻¹)			C/N _{Cent} ¹	C/N obs ²	C/N _{Cent} ¹	Ce/Ne ³	SOILNM(I) ⁴	TNETMN(I) ⁵	EUPACC(I) ⁶	Nabs. ⁷	SOILNM(I)	TNETMN(I)	EUPACC(I)	
										g.m ⁻² .ano ⁻¹				
<i>FIX.100</i> PADRÃO														
0 N	CN	0,20	8,74	12,4	8,73	-	10,29	10,57	11,7	-	10,3	10,60	11,68	
	PCAM	0,20	7,80	11,8	7,28	12,26	10,61	10,85	14,7	8,4	4,41	5,20	6,73	
	PCAVMC	0,20	7,73	11,0	7,91	10,04	12,50	14,96	20,0	11,8	10,27	12,57	16,14	
	SDAM	0,20	8,17	12,8	7,30	13,40	7,92	11,61	15,5	7,1	2,46	4,51	6,34	
	SDAVMC	0,20	8,01	11,6	8,47	14,32	9,41	15,78	20,5	11,1	7,07	13,56	17,99	
	<i>FIX.100</i> MODIFICADO													
	PCAM	0,30	7,33	11,8	6,90	12,26	11,66	12,27	15,6	8,4	4,33	5,13	6,65	
	PCAVMC	0,37	7,87	11,0	7,99	10,04	18,34	20,62	29,3	11,8	18,17	20,63	27,76	
	SDAM	0,14	8,59	12,8	7,85	13,40	6,94	9,96	14,2	7,1	2,54	4,52	6,36	
	SDAVMC	0,22	8,85	11,6	9,30	14,32	11,49	19,73	29,2	11,1	12,49	21,54	29,10	
<i>FIX.100</i> PADRÃO														
138 N	PCAM	0,20	8,24	11,5	8,30	10,42	11,16	11,44	24,0	18,5	16,59	18,60	23,26	
	PCAVMC	0,20	8,41	10,6	8,32	10,47	15,54	18,12	32,7	18,3	24,51	27,44	31,33	
	SDAM	0,20	8,44	11,6	8,64	12,01	8,61	13,25	24,3	17,9	11,98	18,91	23,13	
	SDAVMC	0,20	8,60	10,7	8,63	12,65	11,56	20,34	32,6	18,7	19,58	29,47	31,42	
	<i>FIX.100</i> MODIFICADO													
	PCAM	0,38	7,44	11,5	7,34	10,42	14,32	14,67	24,3	18,5	16,48	18,49	23,09	
	PCAVMC	0,40	7,49	10,6	7,32	10,47	19,67	22,29	32,7	18,3	24,48	27,41	31,23	
	SDAM	0,28	8,00	11,6	7,95	12,01	9,96	14,61	24,3	17,9	11,99	18,91	23,13	
	SDAVMC	0,29	8,07	10,7	7,90	12,65	13,65	22,51	32,7	18,7	19,48	29,34	31,26	

¹ Relação C/N calculada para estimativas com o modelo Century v.4.0.

² Relação C/N observada no experimento na camada 0 -17,5 cm (Lovato, 2001).

³ Relação C/N calculada para estimativas no equilíbrio com o modelo Woodruff na camada 0 - 17,5 cm (Lovato, 2001).

⁴ Mineralização líquida de N no solo estimada com o modelo Century v.4.0 para a camada 0 -15 cm. Média do período.

⁵ Mineralização líquida total de N no solo estimada com o modelo Century v.4.0. Média do período.

⁶ Absorção anual de N pelas plantas estimada com o modelo Century v.4.0. Média do período.

⁷ Nitrogênio médio absorvido pelas plantas nos primeiros 13 anos do experimento, incluindo o N nos grãos (Lovato, 2001).

Existem nove parâmetros que regulam a relação C/N de cada cultura. Eles determinam os valores mínimos e máximos para a parte aérea e raízes. São eles: *PRAMN(1,1)* e *PRAMN(1,2)*, que indicam os valores mínimos de relação C/N para biomassa nula, e igual ao parâmetro *BIOMAX*, respectivamente. *PRAMX(1,1)* e *PRAMX(1,2)*, indicam os valores máximos de relação C/N para biomassa nula, e igual ao parâmetro *BIOMAX*. Já *BIOMAX*, por sua vez representa a quantidade de biomassa a partir da qual a relação C/N, no caso, se iguala a *PRAMN(1,2)* e *PRAMX(1,2)*. O restante controla a relação C/N das raízes. *PRBMN(1,1)* e *PRBMN(1,2)* são interceptação e declividade da equação que descreve a relação C/N mínima em função da precipitação anual. Enquanto que *PRBMX(1,1)* e *PRBMX(1,2)* estão relacionadas do mesmo modo com relações C/N máximas. Estes parâmetros não foram alterados, usando-se o padrão fornecido no arquivo *CROP.100* usado como base para criar cada cultura.

O uso de adubação nitrogenada provocou um efeito semelhante ao observado por Lovato (2001), resultante do aumento da quantidade de N a ciclar no sistema, que provocou um aumento no NT, diminuindo levemente a relação C/N. Para o PCAM, especialmente no ano de 2150, contudo, os resultados foram divergentes, uma vez que as relações C/N obtidas com a *DEC5* modificada tenderam aumentar com a adubação. Note-se que o aumento observado no NT (TABELA 15) no sistema que apresentava limitação da disponibilidade de N, também foi acompanhado do aumento das adições de C (TABELA 13).

A mineralização líquida na primeira camada (0-15 cm) de solo, *SOILNM(1)* também foi influenciada pela alteração do *DEC5*. Conforme pode-se verificar, a aceleração do fluxo de saída do COL provocou o aumento da mineralização líquida de N, tanto nesta como no total das camadas, *TNETMN(1)*, e teve como consequência a maior quantidade de N absorvido pelas plantas, dada por *EUPACC(1)* nos tratamentos sem adubação. Este efeito, contudo, não se verificou para o SDAM 0N, que apresentou a menor mineralização líquida de N de todos os tratamentos nos dois períodos apresentados. Este resultado concorda com Amado (1997), onde a velocidade de liberação de N dos resíduos das culturas antecedentes foi menor na semeadura direta. neste sistema, a quantidade de NT foi ligeiramente maior que no PCAM 0N. Mas a ausência de preparo de solo incorporou menos biomassa no perfil e aumentou o potencial de imobilização de N, reforçando a idéia de que a *DEC5* deva ser menor em SD.

Analisando na TABELA 16 o comportamento da mineralização líquida no tempo, nota-se que houve queda, refletida por *TNETMN(1)* e *SOILNM(1)*, para todos os tratamentos sem adubação nitrogenada, exceto no SDAVMC, e apesar do NT ter aumentado nos sistemas AVMC (TABELA 15). Este comportamento provavelmente esteja associado à redução do conteúdo de COT dos solos devido ao revolvimento do solo e/ou redução da adição de biomassa com o passar do tempo. Também pode-se notar que o aumento da *DEC5*, especialmente na ausência de adubação nitrogenada, proporcionou maior mineralização a curto prazo (1985-1998), refletida por *TNETMN(1)* e *SOILNM(1)*. Entretanto, este efeito se estendeu ao final da simulação apenas nos tratamentos com leguminosas, onde o suprimento de N balançou as perdas e sustentou a produção vegetal, pelo aumento do conteúdo de NT (TABELA 15). Como consequência, alterou o conteúdo do COT, passando de -52,9% para -3,7% no preparo convencional, e de -43,0 para +22,5%, na semeadura direta (TABELA 13).

A análise das médias de *TNETMN(1)* para cada preparo de solo em 2150 (TABELA 17) indica que a contribuição geral dos sistemas de preparo de solo sobre a mineralização total de N foi pequena e variou de 17,915 g.m⁻².ano⁻¹ N, no PC, para 18,577 g.m⁻².ano⁻¹, na SD. Da mesma forma, a quantidade de N absorvido pelas plantas (*EUPACC(1)*), apresentou variação de 20,52 g.m⁻².ano⁻¹ N, no PC, e 22,463 g.m⁻².ano⁻¹, na SD.

O incremento da mineralização líquida total (*TNETMN(1)*) devido ao efeito cumulativo da FBN e da redução do revolvimento de solo na ausência de adubação nitrogenada foi de 4,2 vezes no final da simulação, passando de 5,13 no PCAM 0N, para 21,54 gN.m⁻².ano⁻¹, no SDAVMC 0N. Além disso, nota-se que o uso de adubação nitrogenada equivalente a 138 KgN.ha⁻¹.ano⁻¹ por 165 anos na cultura do milho compensou parcialmente a ausência de culturas leguminosas na sucessão, passando para 18,49 g.m⁻² no PCAM e 18,91 g.m⁻², no SDAM.

Segundo o modelo, o uso de adubação nitrogenada nos sistemas com AM elevou a mineralização líquida total média, ou *TNETMN(1)*, no período de 1985 a 1998 e mesmo em 2150. Observando a TABELA 17 pode-se notar que este aumento foi de 4,82 g.m⁻².ano⁻¹ N, nos AM 0N, para 18,70 g.m⁻².ano⁻¹ N, nos AM 138N para 2150. Conseqüentemente, a absorção anual média de N pelas plantas ou *EUPACC(1)*, refletiu estas alterações, aumentando aproximadamente 3,5 vezes: de 6,50 g.m⁻².ano⁻¹ N na média dos tratamentos com AM 0N, para 23,11 g.m⁻².ano⁻¹ N, nos AM 138N para o ano

de 2150. Contudo, a substituição da adubação química pelo uso de leguminosas na sucessão elevou esta absorção em 4,4 vezes, passando de $6,505 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1} \text{ N}$, nos sistemas com AM 0N, para $28,43 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1} \text{ N}$, quando AVMC 0N. Para os sistemas com AVMC, o incremento produzido na média de mineralização líquida total de N pela sua aplicação como fertilizante foi menor: de $21,08 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para $28,37 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, ou 1,3 vez. A absorção de N acompanhou esta tendência, passando de $28,430 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para $31,24 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1} \text{ N}$.

TABELA 17. Médias de Mineralização Líquida Total de N no solo (*TNETMN(1)*) e Absorção Anual de N pelas Culturas (*EUPACC(1)*), estimadas pelo modelo Century com *DEC5* modificado, para os sistemas de sucessão de culturas, preparo de solo e doses de N no ano de 2150.

Adubação Nitrogenada	Sucessão de Culturas		Preparo de Solo		MÉDIA
	AM	AVMC	PC	SD	
<i>TNETMN(1)</i>					
(Kg.ha ⁻¹)	..... g.m ⁻² .ano ⁻¹ N				
0	4,825	21,085	12,880	13,030	12,955
138	18,700	28,375	22,950	24,125	23,537
MÉDIA	11,762	24,730	17,915	18,577	18,246
<i>EUPACC(1)</i>					
	..... g.m ⁻² .ano ⁻¹ N				
0	6,505	28,430	17,205	17,730	17,467
138	23,110	31,245	27,160	27,195	27,180
MÉDIA	14,810	29,840	22,182	22,463	22,323

Embora os dados de N tenham sido superestimados, esses resultados indicam o potencial do uso de leguminosas nos sistemas de sucessão de culturas com vistas a aumentar a disponibilidade de N, a produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, os estoques de C no solo. Esta simulação também reflete os resultados obtidos por Amado (1997) na mesma área experimental, que observou um aumento na absorção de N da ordem de 1,29 vezes no milho cultivado após ervilhaca, do que em sucessão à aveia. Na média, a absorção de N de $14,81 \text{ g.m}^{-2} \text{ N}$, no sistema AM, dobrou para o AVMC ($29,84 \text{ gN.m}^{-2}$). Como conseqüência, as adições de C estimadas pelo modelo nos tratamentos AVMC (TABELA 13) foram 18,2 % superiores aos AM em 2150, passando de $642,5$ para $759,5 \text{ g.m}^{-2} \text{ C}$.

A constatação da necessidade de alterar o *DEC5* em função do sistema de preparo do solo e do potencial de adição de C pelo sistema de manejo indica que outros fatores como a mineralogia dominante, relacionada com a proteção química, e o tipo de preparo do solo, envolvido com alterações na proteção física à decomposição, provavelmente apresentem um efeito aditivo sobre o resultado final da simulação. Assim, para serem definidos os valores de *DEC5* mais amplamente aplicáveis, haverá necessidade de utilizar um número maior de solos com variação nestes atributos, e experimentos de manejo de longa duração para validar os resultados.

Para finalizar, ressalta-se que estes resultados foram obtidos em função da superestimação da quantidade de N ciclando no modelo e que sua correção certamente produziria resultados diferentes dos apresentados neste trabalho.

6.4. CONCLUSÕES

As simulações com o Century v.4.0 dos manejos aplicados no experimento de longa duração da Estação Experimental de Eldorado do Sul permitiram concluir que o modelo apresentou maior sensibilidade às variações na taxa de decomposição máxima do compartimento lento (COL) ou parâmetro *DEC5*, do que na eficiência de conversão do compartimento ativo (COA) em lento (COL) ou *PICO2B(2)*.

A taxa de decomposição máxima do COL (*DEC5*) foi dependente do potencial de adição de C pelas culturas e pelo grau de revolvimento do solo.

A distribuição simulada dos compartimentos de carbono a longo prazo para os tratamentos escolhidos foi coerente com o esperado, indicando a potencialidade de uso do modelo para o planejamento de estratégias de manejo de solo para o Rio Grande do Sul.

Verificou-se também uma tendência do modelo em superestimar o acúmulo de NT na etapa de parametrização, para o solo em estado natural, refletindo-se nos resultados obtidos nas simulações deste nutriente relativas aos tratamentos experimentais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T. M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, p.15-40, 1993.
- ALEXANDER, M. **Biodegradation and Bioremediation**. London: Academic Press, 1994. 302 p.
- AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. Porto Alegre, 1997. 201f. Tese (Doutorado - Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- ANDERSON, D.W. and PAUL, E.A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 298–301, 1984.
- ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P.W.; CASWEL, E.; COLEMAN, D.C.; CUEVAS, E.; FREEKMAN, D.W.; JONES, J.A.; LAVELLE, P.; VITOUSEK, P. Biological Processes Regulating Organic Matter Dynamics in Tropical Soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G.(Eds). **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. Honolulu: Nifal Project, University of Hawaii, 1989. p. 97-123.
- ANDREUX, F. Humus in World Soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.
- ANDRIULLO, A.; MARY, B.; GUERIF, J. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. **Agronomie**, Paris, v.19, p.365-377, 1999.
- BALDOCK, J.O. and SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Elmsford, v.31, p. 697-710, 2000.
- BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution os roots to soil carbon storage inferred from mayze cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n.9, p. 1261-1263, 1996.
- BALESDENT, J.; WAGNER, G.H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 118-124, 1988.
- BALESDENT, J; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam,

- v. 53, p. 215-30, 2000.
- BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1992. 183f. Dissertação (Mestrado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 240f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, p. 1459-66, 1995.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 704-16, 1996.
- BRADFIELD, R. Soil conservation from the environment viewpoint of soil physics. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 29 (2), p. 85-92, 1937.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife. 431p. 1973. (Boletim Técnico, 30).
- CHRISTENSEN, B.T. ; SORRENSEN, L. H. The distribution of native and labelled carbon between soil fractions isolated from long-term incubation experiments. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 38, p. 219-229, 1985.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 97-165.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p.1-90, 1992.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.281-292, 1986.
- DORAN, J. W. Soil Quality and sustainability In: : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 27., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-Rom.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds) **Defining Soil Quality For a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3 - 21.
- DRAKE, B.G.; GONZÁLES-MELER, M.A.; LONG, S.P. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? **Annual Review of Plant Physiology**

- and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, p. 609-39, 1997.
- EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microagregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, v.18, n.1, p. 64-73, 1967.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.; OADES, J.M. Organo-mineral Complexes and Soil Structure. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds). **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison: SSSA, 1986. p. 521-548. (SSSA Special Publication, 17)
- EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.; OADES, J.M. Organo-mineral Complexes and Soil Structure. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds). **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison: SSSA, 1986. p. 521-548. (SSSA Special Publication, 17)
- FAO. **Soil map of the world revised legend**. FAO: Rome, 1990. 1190p. (World Soil Resources, 60).
- FELLER, C. e BEARE, M.H.. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Amsterdam, **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69 – 116, 1997.
- FERNANDES, S.B.V. **Disponibilidade e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho em sistemas de cultura**. Porto Alegre, 1998. 137f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- FORSYTHE, W.M. **Física de Suelos: Manual de Laboratório**. San José: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975. 212p.
- FREITAS, V.H. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. Porto Alegre, 1988. 148f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O. AND CLARK, P. Soil Structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 32, p. 1043-1068, 1994.
- GREENLAND, D.J. Land use and soil carbon in different agroecological zones. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in Soil Science: soil management and greenhouse effect**. Boca Raton : CRC Lewis Publishers, 1995. p.9-24.
- GREENLAND, D.J. Land use and soil carbon in different agroecological zones. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in Soil Science: soil management and greenhouse effect**. Boca Raton : CRC Lewis Publishers, 1995. p.9-24.
- GREENLAND, D.J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic Matter Dynamics in Soils of the Tropics – From Myth to Complex Reality. In: LAL, R. and SANCHEZ, P.A. (Eds.) **Myths and Science of Soils of the Tropics**. Madison: SSSA, 1992. p.17-

33. (SSSA Special Publication, 29).
- GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H.; MONREAL, C.M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ^{13}C abundance. **Canadian Journal of Soil Science**, Alberta, v. 75, p. 161-167, 1995.
- HAYES, M.H.B.; HIMES, F.L. Nature and Properties of Humus-Mineral Complexes. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison: SSSA, 1986. p.103-158. (SSSA Special Publication, 17).
- HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Aggregation and Organic Matter Storage in Mesothermal, Humid Soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.). **Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.213-262.
- HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v.15, p.17-29, 1945.
- HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of Soil Minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA, 1986. (SSSA Special Publication, 17).
- INSAM, H. Microorganisms and Humus in Soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1996. p. 265-292.
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organo-mineral associations. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. P.207-223.
- JONES, H. G. **Plant and Microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge, Cambridge University Press., 2^a Ed. 428p., 1992.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p. 27 – 39, 1983.
- 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**, Amsterdam, v. 81, p. 75 – 90, 1997.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A. (Eds.) World Soils as a source or Sink for Radiatively-Active Gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J. LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in Soil Science: soil management and greenhouse effect**. Boca Raton : CRC Lewis , 1995. 385 p.
- LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. 252p.
- LEAL, M.A.A. **Proposta de modelo de simulação no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo**. Seropédica: UFRRJ, 1996. 111f. Dissertação (Mestrado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

- LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 150f. Tese (Doutorado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- MANN, L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, Oxford, v. 142, p. 279 – 288, 1986.
- MARTIN, J.P.; HAIDER, K. Influence of Mineral Colloids on turnover Rates of Soil Organic Carbon. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds). **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison, SSSA, 1986. p.283-304. (SSSA Special Publication, 17)
- MENDONÇA, E. S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 25-30, 1995.
- METHERELL, A.K.; HARDING, L.A.; COLE, C.V. ; PARTON, W.J. **Century: Soil Organic Matter Model Environment**. Technical Documentation Agroecosystem Version 4.0., Fort Collins : USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report , 4)
- MONTEITH, J.L. The quest for balance in crop modelling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 695-7, 1996.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. Seção de Geografia, 1961. 38p.
- MOTAVALLI, P.P.; PLAM, C.A.; PARTON, W.J.; ELLIOT, E.T.; FREY, S.D. Comparison of laboratory and modelling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.26, n. 8, p. 935-944, 1994.
- MYERS, R.F.K.; VAN NOORDWIJK, M.; VITYAKON, P. Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Eds). **Driven by Nature – Plant Litter Quality and Decomposition**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 215-230.
- OADES, J.M. e WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 815-28, 1991.
- OADES, J.M. An Introduction to Organic Matter in Mineral Soils. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B.; DINAUER, R.C. (Eds). **Minerals in Soil Environments**. Madison: SSSA, 1989. p. 89-159.
- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.5, p.35-70, 1981.
- PALADINI, F.L dos S. **Distribuição do tamanho de agregados em solo Podzólico Vermelho Escuro afetada por sistemas de culturas**. 1989. 80f. Dissertação (Mestrado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- 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**, Amsterdam, The

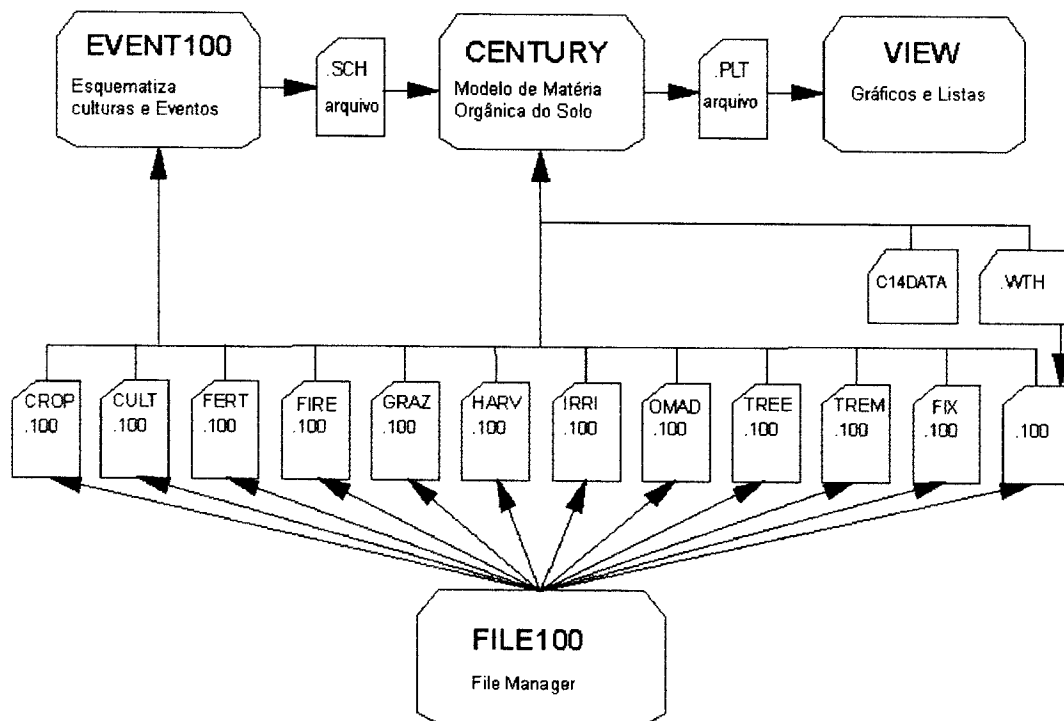
- Netherlands, v. 75, p.1-12, 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1173 – 1179, 1987.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press , 1989. 273 p.
- PAUSTIAN, K.; ÅGREN G.; BOSATTA, E. Modelling litter quality effects on decomposition and soil organic matter dynamics. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Eds). **Driven by Nature – Plant Litter Quality and Decomposition**. Wallingford : CAB International, 1994. p.313-335.
- PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J.. Modelling 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.
- PENNOCK, D.J. e FRICK, A.H. The role of field studies in landscape-scale applications of process models: an example of soil redistribution and soil organic carbon modeling using CENTURY. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 58, p. 183-191, 2001.
- PHILIP, J.R. Future problems of soil water research. **Soil Science**, Oxford, v. 113, p. 94-300, 1972.
- SAINT-JIMENEZ, C. The chemical Structure of Humic Substances: Recent Advances. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam : Elsevier Science B. V., 1996. p. 1-44.
- SCHNITZER, M. Binding of Humic Substances by Soil Mineral Colloids. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds). **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. Madison: SSSA, 1986. P.77-101. (SSSA Special Publication, 17).
- SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 25 – 47, 1997.
- SHANG, C. ; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, Oxford, v.162, n.11, p. 795-807, 1997.
- SHARKEY, T.D. Photosynthesis in intact leaves of C3 plants: Physics, physiology and rate limitations. **The Botanical Review** , New York, v. 51, n.1, p. 53-105, 1985.
- SILVA, I. de F. da. **Formação, Estabilidade e Qualidade de Agregados de Solo Afetados pelo Uso Agrícola**. 1993. 126f. Tese (Doutorado – Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- SILVEIRA, A.M.; VICTORIA, R.L.; BALLESTER, M.V.; CAMARGO, P.B. de; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M. de C. Simulação dos efeitos da mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na Bacia do Rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.2, 389-399, 2000.
- SINCLAIR, T.R.; SELIGMAN, N.G. Crop modelling: from infancy to maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 698-704, 1996.

- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microorganismos e Processos Biológicos no Solo: Perspectiva Ambiental**. Brasília: Serviço de Publicações e Informação, 1994. 142 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 45).
- SKJEMSTAD, J.O.; JANIK, L.J.; MCCLURE, S.G. High energy ultraviolet photo-oxidation: a novel technique for studying physically protected organic matter clay- and silt-sized aggregates. **Journal of Soil Science**, London, v. 44, p. 485-499, 1993.
- SMITH, P.; SMITH, J.U.; POULSON, 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.; 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.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 8 ed. Washington, 1998. 326p.
- SORENSEN, L.H. The influence of clay on the rate of decay of aminoacid metabolites synthesised in soils during decomposition of cellulose. **Soil Biology e Biochemistry**, Oxford, v. 7, p. 171-177, 1975.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; KLAMT, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. **Informativo EMATER/RS**, Porto Alegre, v. 16, n. 9, 1999.
- TABATABAI, M.A. Soil Organic Matter Testing: An Overview. In: MAGDOFF, F.R.; TABATABAI, M.A.; And HANLON Jr., E.A. (Eds.). **Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation**. Madison: SSSA, 1996. p. 1-10. (SSSA Special Publication, 46)
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. rev. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.
- TISDALL, J. M. ; OADES, J.M. Organic Matter and Water-Stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, v. 33, p. 141-163, 1982.
- TISDALL, J.M. Formation of Soil Aggregates and Accumulation of Soil Organic Matter. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds). **Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils**. Boca Raton : CRC Press, 1996. p.57-96.
- VAN GESTEL, M.; LADD, J.N.; AMATO, M. Carbon and nitrogen mineralization from two soils of contrasting texture and microaggregate stability: influence of sequential fumigation, drying and storage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 4, p. 313-322, 1991.
- VAN GESTEL, M.; LADD, J.N.; AMATO, M. Carbon and nitrogen mineralization from two soils of contrasting texture and macroaggregate stability: influence of sequential fumigation, drying and storage. **Soil Biochemistry**, v. 23, n.4, p. 313-322, 1991.
- VERONEY, R.P.; ANGERS, D.A. Analysis of the Short-Term effects of Management on Soil Organic Matter Using the CENTURY Model. In: LAL, R;

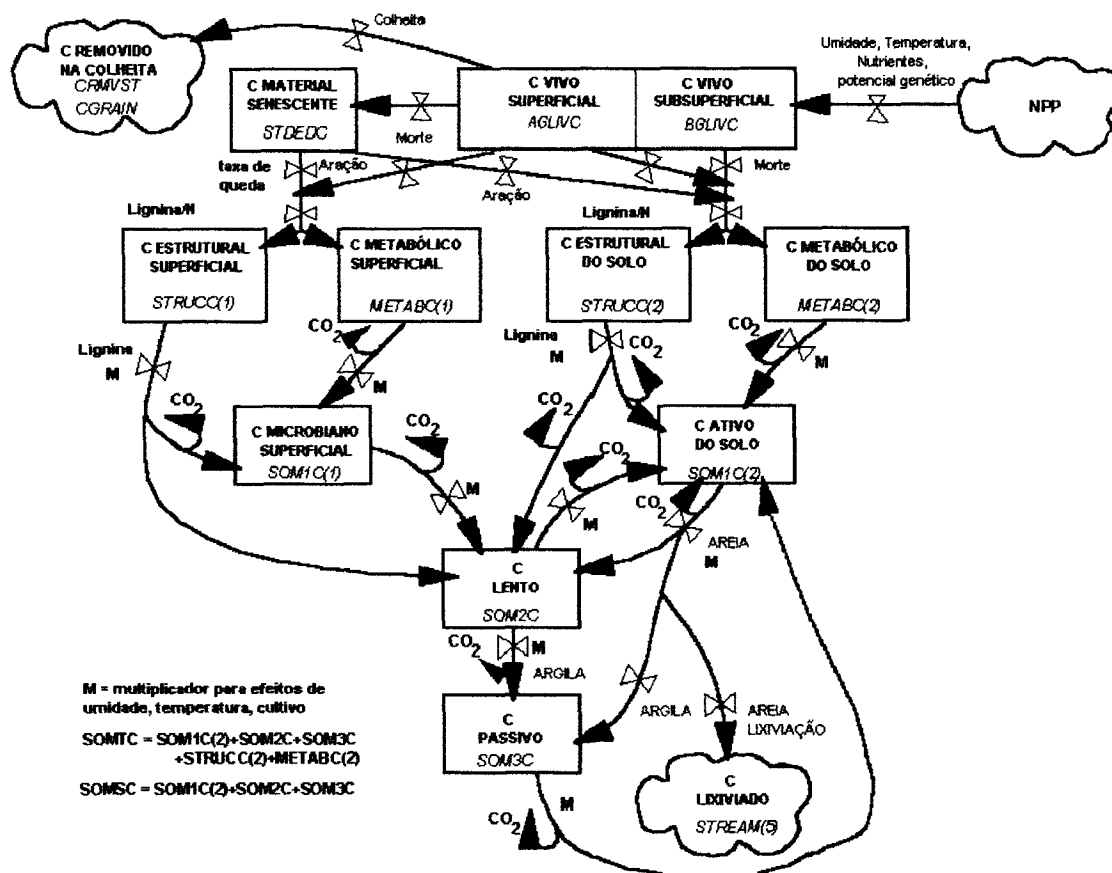
- KIMBLE , J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A., **Soil Management and Greenhouse Effect**. Boca Raton : CRC Press, 1995. p. 113-120.
- WADA, K.; AOMINE, S. Soil development on volcanic materials during the quaternary. **Soil Science**, Madison, v. 116, p.170-177, 1973.
- WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by sanborn field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p.1371 - 1376, 1949.

8. APÊNDICES

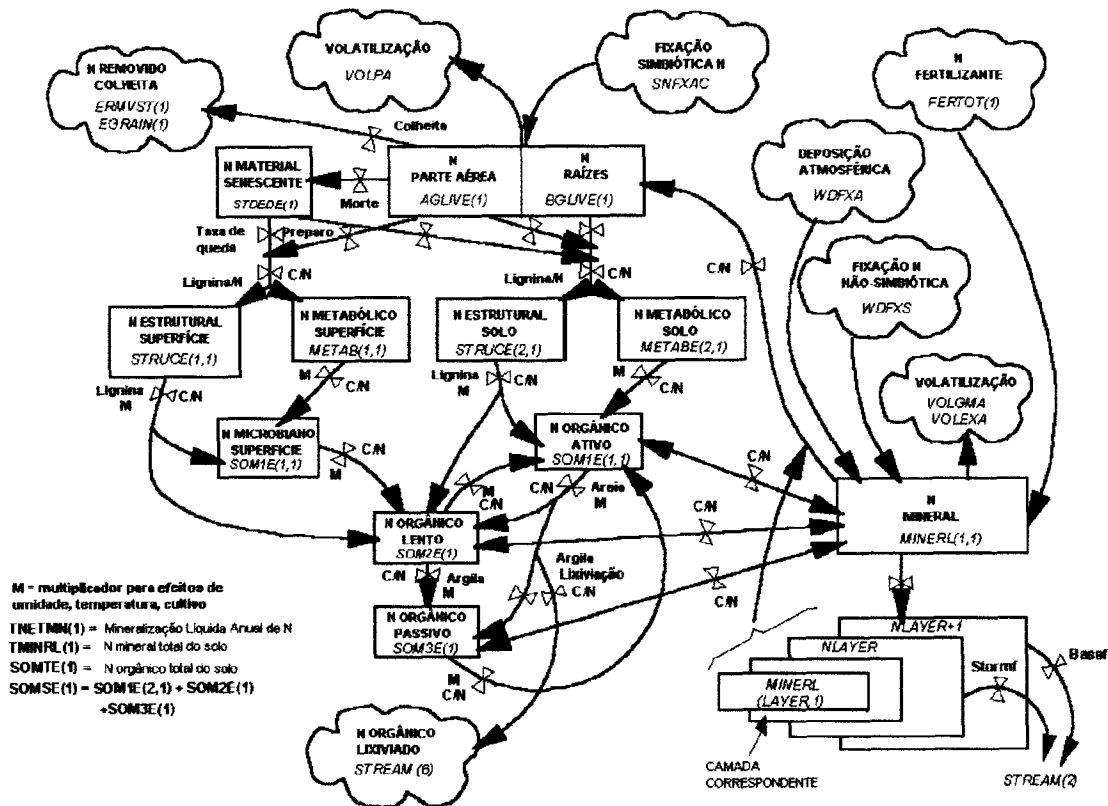
APÊNDICE 1. Diagrama de fluxo do Century, indicando relacionamento entre programas e estrutura de arquivos usados. (Metherell et al., 1994)



APÊNDICE 2. Submodelo do C no programa Century v.4.0, conforme Metherell et al. (1994).



APÊNDICE 3. Submodelo do N no programa Century v.4.0, conforme Metherell et al. (1994).



APÊNDICE 4. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "LVafeq.100"

Erexim LVafeq.100		23.2	TMX2M(10)	57.791	RCES1(1,3)
*** Parâmetros de clima -		25.5	TMX2M(11)	11.59	RCES1(2,1)
media 30 anos- Lagoa Vermelha		26.6	TMX2M(12)	40.358	RCES1(2,2)
			*** Site and control parameters	88.241	RCES1(2,3)
16.2	PRECIP(1)	0	IVAUTO	18.007	RCES2(1)
14.3	PRECIP(2)	1.0	NELEM	128.29	RCES2(2)
12.0	PRECIP(3)	-27.91	SITLAT	291.84	RCES2(3)
13.0	PRECIP(4)	-51.82	SITLNG	7.406	RCES3(1)
14.9	PRECIP(5)	0.120	SAND	28.47	RCES3(2)
19.6	PRECIP(6)	0.383	SILT	91.677	RCES3(3)
15.0	PRECIP(7)	0.605	CLAY	64.815	CLITTR(1,1)
15.8	PRECIP(8)	0.985	BULKD	0.0	CLITTR(1,2)
17.0	PRECIP(9)	5.0	NLAYER	332.46	CLITTR(2,1)
15.4	PRECIP(10)	5.0	NLAYPG	0.0	CLITTR(2,2)
11.8	PRECIP(11)	0.5	DRAIN	96.377	RCELIT(1,1)
11.2	PRECIP(12)	0.3	BASEF	433.07	RCELIT(1,2)
0	PRCSTD(1)	0.6	STORMF	300.0	RCELIT(1,3)
0	PRCSTD(2)	3.0	SWFLAG	110.53	RCELIT(2,1)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(1)	471.86	RCELIT(2,2)
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(2)	300.0	RCELIT(2,3)
0	PRCSTD(5)	0.2	AWILT(3)	21.231	AGLCIS(1)
0	PRCSTD(6)	0.2	AWILT(4)	0.0	AGLCIS(2)
0	PRCSTD(7)	0.2	AWILT(5)	0.43836	AGLIVE(1)
0	PRCSTD(8)	0.2	AWILT(6)	0.054439	AGLIVE(2)
0	PRCSTD(9)	0.2	AWILT(7)	0.0	AGLIVE(3)
0	PRCSTD(10)	0.2	AWILT(8)	397.69	BGLCIS(1)
0	PRCSTD(11)	0.2	AWILT(9)	0.0	BGLCIS(2)
0	PRCSTD(12)	0.2	AWILT(10)	6.5784	BGLIVE(1)
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(1)	0.94794	BGLIVE(2)
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(2)	0.45	BGLIVE(3)
0	PRCSKW(3)	0.4	AFIEL(3)	17.198	STDCIS(1)
0	PRCSKW(4)	0.4	AFIEL(4)	0.0	STDCIS(2)
0	PRCSKW(5)	0.4	AFIEL(5)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSKW(6)	0.4	AFIEL(6)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSKW(7)	0.4	AFIEL(7)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSKW(8)	0.4	AFIEL(8)		*** Forest organic matter initial parameters
0	PRCSKW(9)	0.4	AFIEL(9)		
0	PRCSKW(10)	0.4	AFIEL(10)	0.3	WILIG
0	PRCSKW(11)	5.1	PH	0.3	W2LIG
0	PRCSKW(12)	1.0	PSLSRB	0.3	W3LIG
15.7	TMN2M(1)	100.0	SORPMX		*** Mineral initial parameters
15.2	TMN2M(2)			0.19987	MINERL(1,1)
13.5	TMN2M(3)	0.21	EPNFA(1)	0.0057205	MINERL(2,1)
11.7	TMN2M(4)	0.0028	EPNFA(2)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
8.8	TMN2M(5)	-0.92	EPNFS(1)	1.1340E-06	MINERL(6,1)
7.3	TMN2M(6)	0.028	EPNFS(2)	5.6548	MINERL(1,2)
6.3	TMN2M(7)	0.0	SATMOS(1)	0.5	MINERL(1,3)
7.4	TMN2M(8)	0.0	SATMOS(2)	50.0	PARENT(2)
9.1	TMN2M(9)	0.0	SIRRI	50.0	PARENT(3)
10.4	TMN2M(10)		*** Organic matter initial values	15.0	SECNDY(2)
12.1	TMN2M(11)	0.00001	SOM1CI(1,1)	2.0	SECNDY(3)
14.4	TMN2M(12)	0.0	SOM1CI(1,2)		*** Water initial parameters
28.4	TMX2M(1)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.98041	RWCF(1)
27.6	TMX2M(2)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.99468	RWCF(2)
26.6	TMX2M(3)	0.00001	SOM2CI(1)	0.13776	RWCF(3)
23.4	TMX2M(4)	0.0	SOM2CI(2)		
20.3	TMX2M(5)	0.0001	SOM3CI(1)		
18.2	TMX2M(6)	0.0	SOM3CI(2)		
18.4	TMX2M(7)	15.818	RCES1(1,1)		
20.0	TMX2M(8)	92.476	RCES1(1,2)		
20.9	TMX2M(9)				

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 5. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "LVdfeq.100"

Santo Ângelo	LVdfeq.100	-54.30	SITLNG	433.07	RCELIT(1,2)
*** Climate parameters	media	0.550	SAND	300.0	RCELIT(1,3)
30 anos- Santo Ângelo		0.2355	SILT	110.53	RCELIT(2,1)
		0.7095	CLAY	471.86	RCELIT(2,2)
15.4	PRECIP(1)	1.275	BULKD	300.0	RCELIT(2,3)
13.4	PRECIP(2)	5.0	NLAYER	21.231	AGLCIS(1)
14.1	PRECIP(3)	5.0	NLAYPG	0.0	AGLCIS(2)
17.0	PRECIP(4)	0.5	DRAIN	0.43836	AGLIVE(1)
18.2	PRECIP(5)	0.3	BASEF	0.054439	AGLIVE(2)
15.6	PRECIP(6)	0.6	STORMF	0.0	AGLIVE(3)
14.0	PRECIP(7)	3.0	SWFLAG	397.69	BGLCIS(1)
14.7	PRECIP(8)	0.2	AWILT(1)	0.0	BGLCIS(2)
17.0	PRECIP(9)	0.2	AWILT(2)	6.5784	BGLIVE(1)
18.4	PRECIP(10)	0.2	AWILT(3)	0.94794	BGLIVE(2)
12.7	PRECIP(11)	0.2	AWILT(4)	0.45	BGLIVE(3)
14.6	PRECIP(12)	0.2	AWILT(5)	17.198	STDCIS(1)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(6)	0.0	STDCIS(2)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(7)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(8)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(9)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(5)	0.2	AWILT(10)		*** Forest organic matter initial parameters
0	PRCSTD(6)	0.4	AFIEL(1)		
0	PRCSTD(7)	0.4	AFIEL(2)	0.0	RLVCIS(1)
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(3)	0.0	RLVCIS(2)
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(4)	0.0	RLEAVE(1)
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(5)	0.0	RLEAVE(2)
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(6)	0.0	RLEAVE(3)
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(7)	0.0	FBRCS(1)
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(8)	0.0	FBRCS(2)
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(9)	0.0	FBRCHE(1)
0	PRCSKW(3)	0.4	AFIEL(10)	0.0	FBRCHE(2)
0	PRCSKW(4)		5.1 PH	0.0	FBRCHE(3)
0	PRCSKW(5)	1.0	PSLSRB	0.0	RLWCIS(1)
0	PRCSKW(6)	100.0	SORPMX	0.0	RLWCIS(2)
0	PRCSKW(7)		*** External nutrient input parameters	0.0	RLWODE(1)
0	PRCSKW(8)	0.21	EPNFA(1)	0.0	RLWODE(2)
0	PRCSKW(9)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	RLWODE(3)
0	PRCSKW(10)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	FRTCIS(1)
0	PRCSKW(11)	0.028	EPNFS(2)	0.0	FRTCIS(2)
0	PRCSKW(12)	0.0	SATMOS(1)	0.0	FROOTE(1)
18.4	TMN2M(1)	0.0	SATMOS(2)	0.0	FROOTE(2)
17.9	TMN2M(2)		0.0 SIRRI	0.0	FROOTE(3)
16.6	TMN2M(3)		*** Organic matter initial values	0.0	CRTCIS(1)
13.8	TMN2M(4)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	CRTCIS(2)
10.7	TMN2M(5)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	CROOTE(1)
9.0	TMN2M(6)	0.0001	SOM1CI(2,1)		0.3 W1LIG
8.2	TMN2M(7)	0.0	SOM1CI(2,2)		0.3 W2LIG
9.2	TMN2M(8)	0.00001	SOM2CI(1)		0.3 W3LIG
11.1	TMN2M(9)	0.0	SOM2CI(2)		*** Mineral initial parameters
12.3	TMN2M(10)	0.0001	SOM3CI(1)	0.19987	MINERL(1,1)
14.4	TMN2M(11)	0.0	SOM3CI(2)	0.0057205	MINERL(2,1)
16.9	TMN2M(12)	15.818	RCES1(1,1)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
32.0	TMX2M(1)	92.476	RCES1(1,2)	1.1340E-06	MINERL(6,1)
31.5	TMX2M(2)	57.791	RCES1(1,3)	5.6548	MINERL(1,2)
29.9	TMX2M(3)	11.59	RCES1(2,1)	0.5	MINERL(1,3)
26.2	TMX2M(4)	40.358	RCES1(2,2)	50.0	PARENT(2)
22.8	TMX2M(5)	88.241	RCES1(2,3)	50.0	PARENT(3)
20.2	TMX2M(6)	18.007	RCES2(1)	15.0	SECNDY(2)
20.7	TMX2M(7)	128.29	RCES2(2)	2.0	SECNDY(3)
22.4	TMX2M(8)	291.84	RCES2(3)		*** Water initial parameters
24.0	TMX2M(9)	7.406	RCES3(1)	0.98041	RWCF(1)
26.1	TMX2M(10)	28.47	RCES3(2)	0.99468	RWCF(2)
29.0	TMX2M(11)	91.677	RCES3(3)	0.13776	RWCF(3)
31.3	TMX2M(12)	64.815	CLITTR(1,1)		
*** Site and control parameters		0.0	CLITTR(1,2)		
0	IVAUTO	332.46	CLITTR(2,1)		
1.0	NELEM	0.0	CLITTR(2,2)		
-28.30	SITLAT	96.377	RCELIT(1,1)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 6. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "LBaeq.100"

Vacaria LBaeq.100		-28.51	SITLAT	332.46	CLITTR(2,1)
***Climate parameters média 30		-50.98	SITLNG	0.0	CLITTR(2,2)
anos - Vacaria		0.365	SAND	96.377	RCELIT(1,1)
		0.250	SILT	433.07	RCELIT(1,2)
16.4	PRECIP(1)	0.713	CLAY	300.0	RCELIT(1,3)
13.7	PRECIP(2)	1.110	BULKD	110.53	RCELIT(2,1)
11.6	PRECIP(3)	5.0	NLAYER	471.86	RCELIT(2,2)
11.0	PRECIP(4)	5.0	NLAYPG	300.0	RCELIT(2,3)
13.3	PRECIP(5)	0.5	DRAIN	21.231	AGLCIS(1)
18.3	PRECIP(6)	0.3	BASEF	0.0	AGLCIS(2)
15.2	PRECIP(7)	0.6	STORMF	0.43836	AGLIVE(1)
16.5	PRECIP(8)	3.0	SWFLAG	0.054439	AGLIVE(2)
18.4	PRECIP(9)	0.2	AWILT(1)	0.0	AGLIVE(3)
13.7	PRECIP(10)	0.2	AWILT(2)	397.69	BGLCIS(1)
10.4	PRECIP(11)	0.2	AWILT(3)	0.0	BGLCIS(2)
11.5	PRECIP(12)	0.2	AWILT(4)	6.5784	BGLIVE(1)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(5)	0.94794	BGLIVE(2)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(6)	0.45	BGLIVE(3)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(7)	17.198	STDCIS(1)
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(8)	0.0	STDCIS(2)
0	PRCSTD(5)	0.2	AWILT(9)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSTD(6)	0.2	AWILT(10)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(7)	0.4	AFIEL(1)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(2)		
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(3)		
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(4)	0.3	W1LIG
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(5)	0.3	W2LIG
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(6)	0.3	W3LIG
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(7)		
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(8)		
0	PRCSKW(3)	0.4	AFIEL(9)		
0	PRCSKW(4)	0.4	AFIEL(10)		
0	PRCSKW(5)	5.1	PH	0.0	
0	PRCSKW(6)	1.0	PSLSRB	0.0	
0	PRCSKW(7)	100.0	SORPMX	1.1340E-06	
0	PRCSKW(8)			0.0	
0	PRCSKW(9)			0.0	
0	PRCSKW(10)	0.21	EPNFA(1)	0.0	
0	PRCSKW(11)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	
0	PRCSKW(12)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	
0	PRCSKW(12)	0.028	EPNFS(2)	5.6548	
14.6	TMN2M(1)	0.0	SATMOS(1)	0.0	
14.4	TMN2M(2)	0.0	SATMOS(2)	0.0	
13.4	TMN2M(3)	0.0	SIRRI	0.0	
10.9	TMN2M(4)	0.0		0.0	
7.1	TMN2M(5)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	
6.6	TMN2M(6)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	
5.5	TMN2M(7)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.0	
6.6	TMN2M(8)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.5	
8.3	TMN2M(9)	0.00001	SOM2CI(1)	0.0	
9.5	TMN2M(10)	0.0	SOM2CI(2)	0.0	
11.1	TMN2M(11)	0.0001	SOM3CI(1)	0.0	
13.3	TMN2M(12)	0.0	SOM3CI(2)	0.0	
27.4	TMX2M(1)	15.818	RCES1(1,1)	0.0	
26.7	TMX2M(2)	92.476	RCES1(1,2)	50.0	
25.5	TMX2M(3)	57.791	RCES1(1,3)	50.0	
22.4	TMX2M(4)	11.59	RCES1(2,1)	15.0	
19.1	TMX2M(5)	40.358	RCES1(2,2)	2.0	
17.2	TMX2M(6)	88.241	RCES1(2,3)		
17.3	TMX2M(7)	18.007	RCES2(1)	0.98041	
18.7	TMX2M(8)	128.29	RCES2(2)	0.99468	
19.9	TMX2M(9)	291.84	RCES2(3)	0.13776	
22.4	TMX2M(10)	7.406	RCES3(1)		
24.5	TMX2M(11)	28.47	RCES3(2)		
26.7	TMX2M(12)	91.677	RCES3(3)		
*** Site and control parameters		64.815	CLITTR(1,1)		
0	IVAUTO	0.0	CLITTR(1,2)		
1.0	NELEM				

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 7. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "LVd1eq.100"

Cruz Alta	LVd1eq.100	1.0	NELEM	0.0	CLITTR(1,2)
*** Parâmetros climáticos media		-31.68	SITLAT	332.46	CLITTR(2,1)
30 anos/Cruz Alta		-54.16	SITLNG	0.0	CLITTR(2,2)
		0.626	SAND	96.377	RCELIT(1,1)
14.8	PRECIP(1)	0.117	SILT	433.07	RCELIT(1,2)
13.3	PRECIP(2)	0.257	CLAY	300.0	RCELIT(1,3)
14.0	PRECIP(3)	1.460	BULKD	110.53	RCELIT(2,1)
16.7	PRECIP(4)	5.0	NLAYER	471.86	RCELIT(2,2)
18.6	PRECIP(5)	5.0	NLAYPG	300.0	RCELIT(2,3)
16.4	PRECIP(6)	0.5	DRAIN	21.231	AGLCIS(1)
13.8	PRECIP(7)	0.3	BASEF	0.0	AGLCIS(2)
16.0	PRECIP(8)	0.6	STORMF	0.43836	AGLIVE(1)
18.7	PRECIP(9)	3.0	SWFLAG	0.054439	AGLIVE(2)
16.1	PRECIP(10)	0.2	AWILT(1)	0.0	AGLIVE(3)
14.3	PRECIP(11)	0.2	AWILT(2)	397.69	BGLCIS(1)
13.7	PRECIP(12)	0.2	AWILT(3)	0.0	BGLCIS(2)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(4)	6.5784	BGLIVE(1)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(5)	0.94794	BGLIVE(2)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(6)	0.45	BGLIVE(3)
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(7)	17.198	STDCIS(1)
0	PRCSTD(5)	0.2	AWILT(8)	0.0	STDCIS(2)
0	PRCSTD(6)	0.2	AWILT(9)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSTD(7)	0.2	AWILT(10)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(1)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(2)		
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(3)		*** Forest organic matter initial parameters
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(4)	0.3	W1LIG
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(5)	0.3	W2LIG
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(6)	0.3	W3LIG
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(7)		*** Mineral initial parameters
0	PRCSKW(3)	0.4	AFIEL(8)	0.19987	MINERL(1,1)
0	PRCSKW(4)	0.4	AFIEL(9)	0.0057205	MINERL(2,1)
0	PRCSKW(5)	0.4	AFIEL(10)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
0	PRCSKW(6)		PH	0.0	MINERL(4,1)
0	PRCSKW(7)	5.1	PSLSRB	0.0	MINERL(5,1)
0	PRCSKW(8)	1.0	SORPMX	1.1340E-06	MINERL(6,1)
0	PRCSKW(9)	100.0		0.0	MINERL(7,1)
0	PRCSKW(10)		*** External nutrient input parameters	0.0	MINERL(8,1)
0	PRCSKW(11)	0.21	EPNFA(1)	0.0	MINERL(9,1)
0	PRCSKW(12)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	MINERL(10,1)
0		-0.92	EPNFS(1)	0.0	MINERL(1,3)
17.6	TMN2M(1)	0.028	EPNFS(2)	5.6548	PARENT(2)
17.5	TMN2M(2)	0.0	SATMOS(1)	0.5	PARENT(3)
16.3	TMN2M(3)	0.0	SATMOS(2)	50.0	SECNDY(1)
13.7	TMN2M(4)		SIRRI	50.0	SECNDY(2)
10.8	TMN2M(5)	0.0		0.0	SECNDY(3)
8.8	TMN2M(6)	0.00001	SOM1CI(1,1)	15.0	OCCLUD
8.3	TMN2M(7)	0.0	SOM1CI(1,2)	2.0	
9.1	TMN2M(8)	0.0001	SOM1CI(2,1)		*** Water initial parameters
10.5	TMN2M(9)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.98041	RWCF(1)
12.0	TMN2M(10)	0.00001	SOM2CI(1)	0.99468	RWCF(2)
14.1	TMN2M(11)	0.0	SOM2CI(2)	0.13776	RWCF(3)
16.3	TMN2M(12)	0.0001	SOM3CI(1)	0.0	RWCF(4)
29.7	TMX2M(1)	0.0	SOM3CI(2)	0.0	RWCF(5)
29.2	TMX2M(2)	15.818	RCES1(1,1)	0.0	RWCF(6)
27.8	TMX2M(3)	92.476	RCES1(1,2)	0.0	RWCF(7)
24.4	TMX2M(4)	57.791	RCES1(1,3)	0.0	RWCF(8)
21.2	TMX2M(5)	11.59	RCES1(2,1)	0.0	RWCF(9)
18.9	TMX2M(6)	40.358	RCES1(2,2)	0.0	RWCF(10)
19.2	TMX2M(7)	88.241	RCES1(2,3)	0.0	
20.4	TMX2M(8)	18.007	RCES2(1)	0.0	SNLQ
21.9	TMX2M(9)	128.29	RCES2(2)	0.0	SNOW
23.8	TMX2M(10)	291.84	RCES2(3)		
26.5	TMX2M(11)	7.406	RCES3(1)		
28.9	TMX2M(12)	28.47	RCES3(2)		
*** Site and control parameters		91.677	RCES3(3)		
0	IVAUTO	64.815	CLITTR(1,1)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 8. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "LVd2eq.100"

Passo Fundo	LVd2.100	0.557	SAND	110.53	RCELIT(2,1)
*** Climate parameters		0.1355	SILT	471.86	RCELIT(2,2)
media 30 anos - Passo Fundo		0.3075	CLAY	300.0	RCELIT(2,3)
		1.380	BULKD	21.231	AGLCIS(1)
15.1	PRECIP(1)	5.0	NLAYER	0.0	AGLCIS(2)
11.1	PRECIP(2)	5.0	NLAYPG	0.43836	AGLIVE(1)
12.2	PRECIP(3)	0.5	DRAIN	0.054439	AGLIVE(2)
12.7	PRECIP(4)	0.3	BASEF	0.0	AGLIVE(3)
17.3	PRECIP(5)	0.6	STORMF	397.69	BGLCIS(1)
17.0	PRECIP(6)	3.0	SWFLAG	0.0	BGLCIS(2)
13.8	PRECIP(7)	0.2	AWILT(1)	6.5784	BGLIVE(1)
14.3	PRECIP(8)	0.2	AWILT(2)	0.94794	BGLIVE(2)
18.0	PRECIP(9)	0.2	AWILT(3)	0.45	BGLIVE(3)
14.7	PRECIP(10)	0.2	AWILT(4)	17.198	STDCIS(1)
11.6	PRECIP(11)	0.2	AWILT(5)	0.0	STDCIS(2)
12.9	PRECIP(12)	0.2	AWILT(6)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(7)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(8)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(9)		*** Forest organic matter initial parameters
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(10)		
0	PRCSTD(5)	0.4	AFIEL(1)	0.3	W1LIG
0	PRCSTD(6)	0.4	AFIEL(2)	0.3	W2LIG
0	PRCSTD(7)	0.4	AFIEL(3)	0.3	W3LIG
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(4)		*** Mineral initial parameters
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(5)	0.19987	MINERL(1,1)
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(6)	0.0057205	MINERL(2,1)
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(7)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(8)	0.0	MINERL(4,1)
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(9)	0.0	MINERL(5,1)
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(10)	1.1340E-06	MINERL(6,1)
0	PRCSKW(3)		5.1 PH	0.0	MINERL(7,1)
0	PRCSKW(4)	1.0	PSLSRB	0.0	MINERL(8,1)
0	PRCSKW(5)	100.0	SORPMX	0.0	MINERL(9,1)
0	PRCSKW(6)		*** External nutrient input parameters	0.0	MINERL(10,1)
0	PRCSKW(7)	0.21	EPNFA(1)	5.6548	MINERL(1,2)
0	PRCSKW(8)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	MINERL(2,2)
0	PRCSKW(9)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	MINERL(3,2)
0	PRCSKW(10)	0.028	EPNFS(2)	0.0	MINERL(4,2)
0	PRCSKW(11)	0.0	SATMOS(1)	0.0	MINERL(5,2)
0	PRCSKW(12)	0.0	SATMOS(2)	0.0	MINERL(6,2)
16.9	TMN2M(1)		0.0 SIRRI	0.0	MINERL(7,2)
16.3	TMN2M(2)		*** Organic matter initial values	0.0	MINERL(8,2)
16.5	TMN2M(3)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	MINERL(9,2)
13.1	TMN2M(4)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	MINERL(10,2)
10.0	TMN2M(5)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.5	MINERL(1,3)
8.5	TMN2M(6)	0.0	SOM1CI(2,2)	50.0	PARENT(2)
7.8	TMN2M(7)	0.00001	SOM2CI(1)	50.0	PARENT(3)
8.8	TMN2M(8)	0.0	SOM2CI(2)	0.0	SECNDY(1)
10.1	TMN2M(9)	0.0001	SOM3CI(1)	15.0	SECNDY(2)
11.8	TMN2M(10)	0.0	SOM3CI(2)	2.0	SECNDY(3)
13.5	TMN2M(11)	15.818	RCES1(1,1)	0.0	OCCLUD
15.6	TMN2M(12)	92.476	RCES1(1,2)		*** Water initial parameters
28.6	TMX2M(1)	57.791	RCES1(1,3)	0.98041	RWCF(1)
28.1	TMX2M(2)	11.59	RCES1(2,1)	0.99468	RWCF(2)
26.8	TMX2M(3)	40.358	RCES1(2,2)	0.13776	RWCF(3)
23.7	TMX2M(4)	88.241	RCES1(2,3)	0.0	RWCF(4)
19.9	TMX2M(5)	18.007	RCES2(1)	0.0	RWCF(5)
18.1	TMX2M(6)	128.29	RCES2(2)	0.0	RWCF(6)
18.5	TMX2M(7)	291.84	RCES2(3)	0.0	RWCF(7)
20.2	TMX2M(8)	7.406	RCES3(1)	0.0	RWCF(8)
21.2	TMX2M(9)	28.47	RCES3(2)	0.0	RWCF(9)
23.5	TMX2M(10)	91.677	RCES3(3)	0.0	RWCF(10)
26.0	TMX2M(11)	64.815	CLITTR(1,1)	0.0	SNLQ
28.2	TMX2M(12)	0.0	CLITTR(1,2)	0.0	SNOW
*** Site and control parameters		332.46	CLITTR(2,1)		
0	IVAUTO	0.0	CLITTR(2,2)		
1.0	NELEM	96.377	RCELIT(1,1)		Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo
-28.50	SITLAT	433.07	RCELIT(1,2)		
-52.40	SITLNG	300.0	RCELIT(1,3)		

APÊNDICE 9. Dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "PVd1eq.100"

São Pedro	PVd1eq.100	0.2	AWILT(3)	300.0	RCELIT(1,3)
*** Climate parameters	media 30 anos-	0.2	AWILT(4)	110.53	RCELIT(2,1)
Santa Maria		0.2	AWILT(5)	471.86	RCELIT(2,2)
	14.4	0.2	AWILT(6)	300.0	RCELIT(2,3)
	14.0	0.2	AWILT(7)	21.231	AGLCIS(1)
	12.9	0.2	AWILT(8)	0.0	AGLCIS(2)
	15.7	0.2	AWILT(9)	0.43836	AGLIVE(1)
	19.1	0.2	AWILT(10)	0.054439	AGLIVE(2)
	16.3	0.4	AFIEL(1)	0.0	AGLIVE(3)
	13.5	0.4	AFIEL(2)	397.69	BGLCIS(1)
	14.5	0.4	AFIEL(3)	0.0	BGLCIS(2)
	16.3	0.4	AFIEL(4)	6.5784	BGLIVE(1)
	15.2	0.4	AFIEL(5)	0.94794	BGLIVE(2)
	12.1	0.4	AFIEL(6)	0.45	BGLIVE(3)
	12.9	0.4	AFIEL(7)	17.198	STDCIS(1)
	18.7	0.4	AFIEL(8)	0.0	STDCIS(2)
	18.4	0.4	AFIEL(9)	0.29745	STDEDE(1)
	17.3	0.4	AFIEL(10)	0.044097	STDEDE(2)
	14.5	5.1	PH	0.2	STDEDE(3)
	11.7	1.0	PSLSRB		*** Forest organic matter initial parameters
	9.7	100.0	SORPMX		
	9.3		*** External nutrient input parameters	.3	WILIG
	9.8	0.21	EPNFA(1)	0.3	WZLIG
	11.6	0.0028	EPNFA(2)	0.3	W3LIG
	12.8	-0.92	EPNFS(1)		*** Mineral initial parameters
	14.9	0.028	EPNFS(2)	0.19987	MINERL(1,1)
	17.1	0.0	SATMOS(1)	0.0057205	MINERL(2,1)
	31.5	0.0	SATMOS(2)	3.5449E-05	MINERL(5,1)
	30.9	0.0	SIRRI	1.1340E-06	MINERL(6,1)
	29.1		*** Organic matter initial values	5.6548	MINERL(1,2)
	25.6	0.00001	SOM1CI(1,1)	.5	MINERL(1,3)
	22.2	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	MINERL(2,3)
	19.6	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.0	MINERL(3,3)
	19.4	0.0	SOM1CI(2,2)	0.0	MINERL(4,3)
	19.4	0.00001	SOM2CI(1)	0.0	MINERL(5,3)
	22.2	0.0	SOM2CI(2)	0.0	MINERL(6,3)
	24.2	0.0001	SOM3CI(1)	0.0	MINERL(7,3)
	26.9	0.0	SCI(2)	0.0	MINERL(8,3)
	30.3	15.818	ES1(1,1)	0.0	MINERL(9,3)
*** Site and control parameters		92.476	RCES1(1,2)	0.0	MINERL(10,3)
	0	57.791	RCES1(1,3)	0.0	PARENT(1)
	1.0	11.59	RCES1(2,1)	50.0	PARENT(2)
	-29.69	40.358	RCES1(2,2)	50.0	PARENT(3)
	-53.82	88.241	RCES1(2,3)	0.0	SECNDY(1)
	0.599	18.007	RCES2(1)	15.0	SECNDY(2)
	0.285	128.29	RCES2(2)	2.0	SECNDY(3)
	0.116	291.84	RCES2(3)	0.0	OCCLUD
	1.500	7.406	RCES3(1)		*** Water initial parameters
	5.0	28.47	RCES3(2)	0.98041	RWCF(1)
	5.0	91.677	RCES3(3)	0.99468	RWCF(2)
	0.5	64.815	CLITTR(1,1)	0.13776	RWCF(3)
	0.3	0.0	CLITTR(1,2)		
	0.6	332.46	CLITTR(2,1)		
	3.0	0.0	CLITTR(2,2)		
	0.2	96.377	RCELIT(1,1)		
	0.2	433.07	RCELIT(1,2)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 10. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "PvD2eq.100"

São Jerônimo	PvD2eq.100	0.262	SILT	471.86	RCELIT(2,2)
*** Climate parameters	media	0.229	CLAY	300.0	RCELIT(2,3)
30 anos- Porto Alegre		1.550	BULKD	21.231	AGLCIS(1)
10.2	PRECIP(1)	5.0	NLAYER	0.0	AGLCIS(2)
8.9	PRECIP(2)	5.0	NLAYPG	0.43836	AGLIVE(1)
9.3	PRECIP(3)	0.5	DRAIN	0.054439	AGLIVE(2)
11.8	PRECIP(4)	0.3	BASEF	0.0	AGLIVE(3)
12.5	PRECIP(5)	0.6	STORMF	397.69	BGLCIS(1)
13.0	PRECIP(6)	3.0	SWFLAG	0.0	BGLCIS(2)
12.3	PRECIP(7)	0.2	AWILT(1)	6.5784	BGLIVE(1)
13.4	PRECIP(8)	0.2	AWILT(2)	0.94794	BGLIVE(2)
12.3	PRECIP(9)	0.2	AWILT(3)	0.45	BGLIVE(3)
10.1	PRECIP(10)	0.2	AWILT(4)	17.198	STDCIS(1)
9.2	PRECIP(11)	0.2	AWILT(5)	0.0	STDCIS(2)
9.2	PRECIP(12)	0.2	AWILT(6)	0.29745	STDEDE(1)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(7)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(8)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(9)	*** Forest organic matter initial parameters	
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(10)		
0	PRCSTD(5)	0.4	AFIEL(1)	0.3	W1LIG
0	PRCSTD(6)	0.4	AFIEL(2)	0.3	W2LIG
0	PRCSTD(7)	0.4	AFIEL(3)	0.3	W3LIG
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(4)	*** Mineral initial parameters	
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(5)	0.19987	MINERL(1,1)
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(6)	0.0057205	MINERL(2,1)
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(7)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(8)	0.0	MINERL(4,1)
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(9)	0.0	MINERL(5,1)
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(10)	1.1340E-06	MINERL(6,1)
0	PRCSKW(3)	5.1	PH	0.0	MINERL(7,1)
0	PRCSKW(4)	1.0	PSLSRB	0.0	MINERL(8,1)
0	PRCSKW(5)	100.0	SORPMX	0.0	MINERL(9,1)
0	PRCSKW(6)	*** External nutrient input parameters		0.0	MINERL(10,1)
0	PRCSKW(7)	0.21	EPNFA(1)	5.6548	MINERL(1,2)
0	PRCSKW(8)	0.0028	EPNFA(2)	0.5	MINERL(1,3)
0	PRCSKW(9)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	MINERL(2,3)
0	PRCSKW(10)	0.028	EPNFS(2)	0.0	MINERL(3,3)
0	PRCSKW(11)	0.0	SATMOS(1)	0.0	MINERL(4,3)
0	PRCSKW(12)	0.0	SATMOS(2)	0.0	MINERL(5,3)
19.7	TMN2M(1)	0.0	SIRRI	0.0	MINERL(6,3)
19.7	TMN2M(2)	*** Organic matter initial values		0.0	MINERL(7,3)
18.3	TMN2M(3)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	MINERL(8,3)
15.5	TMN2M(4)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	MINERL(9,3)
12.2	TMN2M(5)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.0	MINERL(10,3)
9.8	TMN2M(6)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.0	PARENT(1)
9.2	TMN2M(7)	0.00001	SOM2CI(1)	50.0	PARENT(2)
10.3	TMN2M(8)	0.0	SOM2CI(2)	50.0	PARENT(3)
12.1	TMN2M(9)	0.0001	SOM3CI(1)	0.0	SECNDY(1)
13.8	TMN2M(10)	0.0	SOM3CI(2)	15.0	SECNDY(2)
15.8	TMN2M(11)	15.818	RCES1(1,1)	2.0	SECNDY(3)
17.9	TMN2M(12)	92.476	RCES1(1,2)	0.0	OCCLUD
30.4	TMX2M(1)	57.791	RCES1(1,3)	*** Water initial parameters	
30.0	TMX2M(2)	11.59	RCES1(2,1)	0.98041	RWCF(1)
28.5	TMX2M(3)	40.358	RCES1(2,2)	0.99468	RWCF(2)
25.3	TMX2M(4)	88.241	RCES1(2,3)	0.13776	RWCF(3)
21.9	TMX2M(5)	18.007	RCES2(1)	0.0	RWCF(4)
19.2	TMX2M(6)	128.29	RCES2(2)	0.0	RWCF(5)
18.9	TMX2M(7)	291.84	RCES2(3)	0.0	RWCF(6)
19.9	TMX2M(8)	7.406	RCES3(1)	0.0	RWCF(7)
21.3	TMX2M(9)	28.47	RCES3(2)	0.0	RWCF(8)
23.5	TMX2M(10)	91.677	RCES3(3)	0.0	RWCF(9)
26.5	TMX2M(11)	64.815	CLITTR(1,1)	0.0	RWCF(10)
29.1	TMX2M(12)	0.0	CLITTR(1,2)	0.0	SNLQ
*** Site and control parameters		332.46	CLITTR(2,1)	0.0	SNOW
0	IVAUTO	0.0	CLITTR(2,2)		
1.0	NELEM	96.377	RCELIT(1,1)		
-30.09	SITLAT	433.07	RCELIT(1,2)		
-51.64	SITLNG	300.0	RCELIT(1,3)		
0.517	SAND	110.53	RCELIT(2,1)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 11. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "RLdeq.100"

Pinheiro Machado RLdeq.100		0.181	SILT	300.0	RCELIT(2,3)
*** Climate parameters media		0.145	CLAY	21.231	AGLCIS(1)
30 anos- Piratini		1.360	BULKD	0.0	AGLCIS(2)
12.5	PRECIP(1)	5.0	NLAYER	0.43836	AGLIVE(1)
9.9	PRECIP(2)	5.0	NLAYPG	0.054439	AGLIVE(2)
9.8	PRECIP(3)	0.5	DRAIN	0.0	AGLIVE(3)
10.9	PRECIP(4)	0.3	BASEF	397.69	BGLCIS(1)
13.3	PRECIP(5)	0.6	STORMF	0.0	BGLCIS(2)
13.3	PRECIP(6)	3.0	SWFLAG	6.5784	BGLIVE(1)
12.0	PRECIP(7)	0.2	AWILT(1)	0.94794	BGLIVE(2)
13.4	PRECIP(8)	0.2	AWILT(2)	0.45	BGLIVE(3)
12.9	PRECIP(9)	0.2	AWILT(3)	17.198	STDCIS(1)
12.3	PRECIP(10)	0.2	AWILT(4)	0.0	STDCIS(2)
9.2	PRECIP(11)	0.2	AWILT(5)	0.29745	STDEDE(1)
9.2	PRECIP(12)	0.2	AWILT(6)	0.044097	STDEDE(2)
0	PRCSTD(1)	0.2	AWILT(7)	0.2	STDEDE(3)
0	PRCSTD(2)	0.2	AWILT(8)	*** Forest organic matter initial parameters	
0	PRCSTD(3)	0.2	AWILT(9)		
0	PRCSTD(4)	0.2	AWILT(10)	0.0	WD2CIS(2)
0	PRCSTD(5)	0.4	AFIEL(1)	0.0	WD3CIS(1)
0	PRCSTD(6)	0.4	AFIEL(2)	0.0	WD3CIS(2)
0	PRCSTD(7)	0.4	AFIEL(3)	0.3	W1LIG
0	PRCSTD(8)	0.4	AFIEL(4)	0.3	W2LIG
0	PRCSTD(9)	0.4	AFIEL(5)	0.3	W3LIG
0	PRCSTD(10)	0.4	AFIEL(6)	*** Mineral initial parameters	
0	PRCSTD(11)	0.4	AFIEL(7)	0.19987	MINERL(1,1)
0	PRCSTD(12)	0.4	AFIEL(8)	0.0057205	MINERL(2,1)
0	PRCSKW(1)	0.4	AFIEL(9)	3.5449E-05	MINERL(3,1)
0	PRCSKW(2)	0.4	AFIEL(10)	0.0	MINERL(4,1)
0	PRCSKW(3)	5.1	PH	0.0	MINERL(5,1)
0	PRCSKW(4)	1.0	PSLSRB	1.1340E-06	MINERL(6,1)
0	PRCSKW(5)	100.0	SORPMX	0.0	MINERL(7,1)
0	PRCSKW(6)	*** External nutrient input parameters		0.0	MINERL(8,1)
0	PRCSKW(7)	0.21	EPNFA(1)	0.0	MINERL(9,1)
0	PRCSKW(8)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	MINERL(10,1)
0	PRCSKW(9)	-0.92	EPNFS(1)	5.6548	MINERL(1,2)
0	PRCSKW(10)	0.028	EPNFS(2)	0.0	MINERL(2,2)
0	PRCSKW(11)	0.0	SATMOS(1)	0.0	MINERL(9,2)
0	PRCSKW(12)	0.0	SATMOS(2)	0.0	MINERL(10,2)
15.8	TMN2M(1)	0.0	SIRRI	0.5	MINERL(1,3)
15.9	TMN2M(2)	*** Organic matter initial values		0.0	MINERL(2,3)
14.8	TMN2M(3)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	MINERL(3,3)
12.0	TMN2M(4)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	PARENT(1)
9.2	TMN2M(5)	0.0001	SOM1CI(2,1)	50.0	PARENT(2)
7.4	TMN2M(6)	0.0	SOM1CI(2,2)	50.0	PARENT(3)
6.7	TMN2M(7)	0.00001	SOM2CI(1)	0.0	SECNDY(1)
7.2	TMN2M(8)	0.0	SOM2CI(2)	15.0	SECNDY(2)
8.2	TMN2M(9)	0.0001	SOM3CI(1)	2.0	SECNDY(3)
9.8	TMN2M(10)	0.0	SOM3CI(2)	0.0	OCCLUD
11.9	TMN2M(11)	15.818	RCES1(1,1)	*** Water initial parameters	
14.3	TMN2M(12)	92.476	RCES1(1,2)	0.98041	RWCF(1)
28.5	TMX2M(1)	57.791	RCES1(1,3)	0.99468	RWCF(2)
27.9	TMX2M(2)	11.59	RCES1(2,1)	0.13776	RWCF(3)
26.4	TMX2M(3)	40.358	RCES1(2,2)	0.0	RWCF(4)
22.7	TMX2M(4)	88.241	RCES1(2,3)	0.0	RWCF(5)
19.0	TMX2M(5)	18.007	RCES2(1)	0.0	RWCF(6)
16.8	TMX2M(6)	128.29	RCES2(2)	0.0	RWCF(7)
16.4	TMX2M(7)	291.84	RCES2(3)	0.0	RWCF(8)
17.6	TMX2M(8)	7.406	RCES3(1)	0.0	RWCF(9)
19.0	TMX2M(9)	28.47	RCES3(2)	0.0	RWCF(10)
21.1	TMX2M(10)	91.677	RCES3(3)	0.0	SNLQ
24.5	TMX2M(11)	64.815	CLITTR(1,1)	0.0	SNOW
27.3	TMX2M(12)	0.0	CLITTR(1,2)		
*** Site and control parameters		332.46	CLITTR(2,1)		
0	IVAUTO	0.0	CLITTR(2,2)	Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo	
1.0	NELEM	96.377	RCELIT(1,1)		
-31.42	SITLAT	433.07	RCELIT(1,2)		
-52.66	SITLNG	300.0	RCELIT(1,3)		
0.6614	SAND	110.53	RCELIT(2,1)		
		471.86	RCELIT(2,2)		

APÊNDICE 12. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "VEoeq.100"

Aceguá	Veoeq.100	0.2	AWILT(10)	0.0	STDCIS(2)
*** Climate parameters		0.4	AFIEL(1)	0.29745	STDEDE(1)
media 30 anos - Bagé		0.4	AFIEL(2)	0.044097	STDEDE(2)
		0.4	AFIEL(3)	0.2	STDEDE(3)
10.9	PRECIP(1)	0.4	AFIEL(4)	*** Forest organic matter initial parameters	
11.0	PRECIP(2)	0.4	AFIEL(5)		
10.2	PRECIP(3)	0.4	AFIEL(6)	0.3	W1LIG
11.4	PRECIP(4)	0.4	AFIEL(7)	0.3	W2LIG
13.9	PRECIP(5)	0.4	AFIEL(8)	0.3	W3LIG
14.2	PRECIP(6)	0.4	AFIEL(9)	*** Mineral initial parameters	
11.3	PRECIP(7)	0.4	AFIEL(10)	0.19987	MINERL(1,1)
12.5	PRECIP(8)	0.4	PH	0.0057205	MINERL(2,1)
16.1	PRECIP(9)	5.1	PSLSRB	3.5449E-05	MINERL(3,1)
11.0	PRECIP(10)	1.0	SORPMX	0.0	MINERL(4,1)
9.2	PRECIP(11)	100.0	*** External nutrient input parameters		
9.7	PRECIP(12)	0.21	EPNFA(1)	0.0	MINERL(5,1)
17.5	TMN2M(1)	0.0028	EPNFA(2)	1.1340E-06	MINERL(6,1)
17.5	TMN2M(2)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	MINERL(7,1)
16.1	TMN2M(3)	0.028	EPNFS(2)	0.0	MINERL(8,1)
13.2	TMN2M(4)	0.0	SATMOS(1)	0.0	MINERL(9,1)
10.3	TMN2M(5)	0.0	SATMOS(2)	0.0	MINERL(10,1)
8.2	TMN2M(6)	0.0	SIRRI	5.6548	MINERL(1,2)
7.9	TMN2M(7)	0.0	*** Organic matter initial values		
8.4	TMN2M(8)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	MINERL(2,2)
9.6	TMN2M(9)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	MINERL(3,2)
11.2	TMN2M(10)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.0	MINERL(4,2)
13.7	TMN2M(11)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.0	MINERL(5,2)
16.0	TMN2M(12)	0.00001	SOM2CI(1)	0.0	MINERL(6,2)
30.2	TMX2M(1)	0.0	SOM2CI(2)	0.0	MINERL(7,2)
29.5	TMX2M(2)	0.0001	SOM3CI(1)	0.0	MINERL(8,2)
27.6	TMX2M(3)	0.0	SOM3CI(2)	0.0	MINERL(9,2)
24.1	TMX2M(4)	15.818	RCES1(1,1)	0.5	MINERL(10,2)
20.4	TMX2M(5)	92.476	RCES1(1,2)	0.0	MINERL(1,3)
17.5	TMX2M(6)	57.791	RCES1(1,3)	0.0	MINERL(2,3)
17.5	TMX2M(7)	11.59	RCES1(2,1)	0.0	MINERL(3,3)
18.6	TMX2M(8)	40.358	RCES1(2,2)	0.0	MINERL(4,3)
20.4	TMX2M(9)	88.241	RCES1(2,3)	0.0	MINERL(5,3)
22.6	TMX2M(10)	18.007	RCES2(1)	0.0	MINERL(6,3)
26.1	TMX2M(11)	128.29	RCES2(2)	0.0	MINERL(7,3)
28.8	TMX2M(12)	291.84	RCES2(3)	0.0	MINERL(8,3)
*** Site and control parameters		7.406	RCES3(1)	0.0	MINERL(9,3)
0	IVAUTO	28.47	RCES3(2)	0.0	PARENT(1)
1.0	NELEM	91.677	RCES3(3)	50.0	PARENT(2)
-31.68	SITLAT	64.815	CLITTR(1,1)	50.0	PARENT(3)
-54.16	SITLNG	0.0	CLITTR(1,2)	0.0	SECNDY(1)
0.096	SAND	332.46	CLITTR(2,1)	15.0	SECNDY(2)
0.624	SILT	0.0	CLITTR(2,2)	2.0	SECNDY(3)
0.280	CLAY	96.377	RCELIT(1,1)	0.0	OCCLUD
1.400	BULKD	433.07	RCELIT(1,2)	*** Water initial parameters	
5.0	NLAYER	300.0	RCELIT(1,3)	0.98041	RWCF(1)
5.0	NLAYPG	110.53	RCELIT(2,1)	0.99468	RWCF(2)
0.5	DRAIN	471.86	RCELIT(2,2)	0.13776	RWCF(3)
0.3	BASEF	300.0	RCELIT(2,3)	0.0	RWCF(4)
0.6	STORMF	21.231	AGLCIS(1)	0.0	RWCF(5)
3.0	SWFLAG	0.0	AGLCIS(2)	0.0	RWCF(6)
0.2	AWILT(1)	0.43836	AGLIVE(1)	0.0	RWCF(7)
0.2	AWILT(2)	0.054439	AGLIVE(2)	0.0	RWCF(8)
0.2	AWILT(3)	0.0	AGLIVE(3)	0.0	RWCF(9)
0.2	AWILT(4)	397.69	BGLCIS(1)	0.0	RWCF(10)
0.2	AWILT(5)	0.0	BGLCIS(2)	0.0	SNLQ
0.2	AWILT(6)	6.5784	BGLIVE(1)	0.0	SNOW
0.2	AWILT(7)	0.94794	BGLIVE(2)		
0.2	AWILT(8)	0.45	BGLIVE(3)		
0.2	AWILT(9)	17.198	STDCIS(1)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 13. Os dados de solo e clima usados como padrão no arquivo "SXdeq.100"

Bagé	SXdeq.100	0.4	AFIEL(1)	0.044097	STDEDE(2)
*** Climate parameters		0.4	AFIEL(2)	0.2	STDEDE(3)
media 30 anos - Bagé		0.4	AFIEL(3)	*** Forest organic matter initial parameters	
10.9	PRECIP(1)	0.4	AFIEL(4)		
11.0	PRECIP(2)	0.4	AFIEL(5)	0.3	W1LIG
10.2	PRECIP(3)	0.4	AFIEL(6)	0.3	W2LIG
11.4	PRECIP(4)	0.4	AFIEL(7)	0.3	W3LIG
13.9	PRECIP(5)	0.4	AFIEL(8)	*** Mineral initial parameters	
14.2	PRECIP(6)	0.4	AFIEL(9)	0.19987	MINERL(1,1)
11.3	PRECIP(7)	0.4	AFIEL(10)	0.0057205	MINERL(2,1)
12.5	PRECIP(8)	5.1	PH	3.5449E-05	MINERL(3,1)
16.1	PRECIP(9)	1.0	PSLSRB	0.0	MINERL(4,1)
11.0	PRECIP(10)	100.0	SORPMX	0.0	MINERL(5,1)
9.2	PRECIP(11)	*** External nutrient input parameters		1.1340E-06	MINERL(6,1)
9.7	PRECIP(12)	0.21	EPNFA(1)	0.0	MINERL(7,1)
17.5	TMN2M(1)	0.0028	EPNFA(2)	0.0	MINERL(8,1)
17.5	TMN2M(2)	-0.92	EPNFS(1)	0.0	MINERL(9,1)
16.1	TMN2M(3)	0.028	EPNFS(2)	0.0	MINERL(10,1)
13.2	TMN2M(4)	0.0	SATMOS(1)	5.6548	MINERL(1,2)
10.3	TMN2M(5)	0.0	SATMOS(2)	0.0	MINERL(2,2)
8.2	TMN2M(6)	0.0	SIRRI	0.0	MINERL(3,2)
7.9	TMN2M(7)	*** Organic matter initial values		0.0	MINERL(4,2)
8.4	TMN2M(8)	0.00001	SOM1CI(1,1)	0.0	MINERL(5,2)
9.6	TMN2M(9)	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	MINERL(6,2)
11.2	TMN2M(10)	0.0001	SOM1CI(2,1)	0.0	MINERL(7,2)
13.7	TMN2M(11)	0.0	SOM1CI(2,2)	0.0	MINERL(8,2)
16.0	TMN2M(12)	0.00001	SOM2CI(1)	0.0	MINERL(9,2)
30.2	TMX2M(1)	0.0	SOM2CI(2)	0.0	MINERL(10,2)
29.5	TMX2M(2)	0.0001	SOM3CI(1)	0.5	MINERL(1,3)
27.6	TMX2M(3)	0.0	SOM3CI(2)	0.0	MINERL(2,3)
24.1	TMX2M(4)	15.818	RCES1(1,1)	0.0	MINERL(3,3)
20.4	TMX2M(5)	92.476	RCES1(1,2)	0.0	MINERL(4,3)
17.5	TMX2M(6)	57.791	RCES1(1,3)	0.0	MINERL(5,3)
17.5	TMX2M(7)	11.59	RCES1(2,1)	0.0	MINERL(6,3)
18.6	TMX2M(8)	40.358	RCES1(2,2)	0.0	MINERL(7,3)
20.4	TMX2M(9)	88.241	RCES1(2,3)	0.0	MINERL(8,3)
22.6	TMX2M(10)	18.007	RCES2(1)	0.0	MINERL(9,3)
26.1	TMX2M(11)	128.29	RCES2(2)	0.0	MINERL(10,3)
28.8	TMX2M(12)	291.84	RCES2(3)	0.0	PARENT(1)
*** Site and control parameters		7.406	RCES3(1)	50.0	PARENT(2)
0	IVAUTO	28.47	RCES3(2)	50.0	PARENT(3)
1.0	NELEM	91.677	RCES3(3)	0.0	SECNDY(1)
-31.43	SITLAT	64.815	CLITTR(1,1)	15.0	SECNDY(2)
-54.15	SITLNG	0.0	CLITTR(1,2)	2.0	SECNDY(3)
0.538	SAND	332.46	CLITTR(2,1)	0.0	OCCLUD
0.290	SILT	0.0	CLITTR(2,2)	*** Water initial parameters	
0.172	CLAY	96.377	RCELIT(1,1)	0.98041	RWCF(1)
1.570	BULKD	433.07	RCELIT(1,2)	0.99468	RWCF(2)
5.0	NLAYER	300.0	RCELIT(1,3)	0.13776	RWCF(3)
5.0	NLAYPG	110.53	RCELIT(2,1)	0.0	RWCF(4)
0.5	DRAIN	471.86	RCELIT(2,2)	0.0	RWCF(5)
0.3	BASEF	300.0	RCELIT(2,3)	0.0	RWCF(6)
0.6	STORMF	21.231	AGLCIS(1)	0.0	RWCF(7)
3.0	SWFLAG	0.0	AGLCIS(2)	0.0	RWCF(8)
0.2	AWILT(1)	0.43836	AGLIVE(1)	0.0	RWCF(9)
0.2	AWILT(2)	0.054439	AGLIVE(2)	0.0	RWCF(10)
0.2	AWILT(3)	0.0	AGLIVE(3)	0.0	SNLQ
0.2	AWILT(4)	397.69	BGLCIS(1)	0.0	SNOW
0.2	AWILT(5)	0.0	BGLCIS(2)		
0.2	AWILT(6)	6.5784	BGLIVE(1)		
0.2	AWILT(7)	0.94794	BGLIVE(2)		
0.2	AWILT(8)	0.45	BGLIVE(3)		
0.2	AWILT(9)	17.198	STDCIS(1)		
0.2	AWILT(10)	0.0	STDCIS(2)		
		0.29745	STDEDE(1)		

Nota: variáveis suprimidas têm valor nulo

APÊNDICE 14. Os dados do campo nativo (cultura) usados como padrão no arquivo
 “CROP.100” para o Estudo 1.

CN1 grass_mixed_75%warm

101.8	'PRDX(1)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
27.0	'PPDF(1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
45.0	'PPDF(2)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
1.0	'PPDF(3)'	0.02	'FLIGNI(1,1)'
3.0	'PPDF(4)'	0.0012	'FLIGNI(2,1)'
0.0	'BIOFLG'	0.26	'FLIGNI(1,2)'
60.0	'BIOK5'	-0.0015	'FLIGNI(2,2)'
1.0	'PLTMRF'	0.0	'HIMAX'
100.0	'FULCAN'	0.0	'HIWSF'
0.0	'FRTC(1)'	2.0	'HIMON(1)'
0.0	'FRTC(2)'	1.0	'HIMON(2)'
0.0	'FRTC(3)'	0.0	'EFRGRN(1)'
400.0	'BIOMAX'	0.0	'EFRGRN(2)'
30.0	'PRAMN(1,1)'	0.0	'EFRGRN(3)'
390.0	'PRAMN(2,1)'	0.15	'VLOSSP'
340.0	'PRAMN(3,1)'	0.2	'FSDETH(1)'
90.0	'PRAMN(1,2)'	0.95	'FSDETH(2)'
390.0	'PRAMN(2,2)'	0.2	'FSDETH(3)'
340.0	'PRAMN(3,2)'	150.0	'FSDETH(4)'
35.0	'PRAMX(1,1)'	0.15	'FALLRT'
440.0	'PRAMX(2,1)'	0.15	'RDR'
440.0	'PRAMX(3,1)'	2.0	'RTDTMP'
95.0	'PRAMX(1,2)'	0.30	'CRPRTF(1)'
440.0	'PRAMX(2,2)'	0.0	'CRPRTF(2)'
440.0	'PRAMX(3,2)'	0.0	'CRPRTF(3)'
50.0	'PRBMN(1,1)'	0.0	'SNFXMX(1)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	-18.0	'DEL13C'
340.0	'PRBMN(3,1)'	1.075	'CO2IPR(1)'
0.0	'PRBMN(1,2)'	0.77	'CO2ITR(1)'
0.0	'PRBMN(2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'
0.0	'PRBMN(3,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
55.0	'PRBMX(1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	1.075	'CO2ICE(1,2,1)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'
		1.0	'CO2ICE(1,2,3)'

APÊNDICE 15. Parâmetros do campo nativo e culturas usados como padrão no arquivo "CROP.100" para o Estudo 1. Nota: PRDX(1) variou conforme a necessidade da simulação.

MCPDCOE	MILHO+CAUPI	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	1.3	'CO2ICE(1,2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
modificado	corn C4	1.0	'CO2IRS(1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'
334.4	'PRDX(1)'	AVPDCOE	Aveia+vicia	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	1.0	'CO2ICE(1,2,1)'
30.0	'PPDF(1)'	modificado para FBN		1.0	'CO2IRS(1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'
45.0	'PPDF(2)'	137.6	'PRDX(1)'	MPCAMCOE	Milho corn	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'
1.0	'PPDF(3)'	18.0	'PPDF(1)'	C4		1.0	'CO2IRS(1)'
2.5	'PPDF(4)'	35.0	'PPDF(2)'	414.0	'PRDX(1)'	APCAMCOE	Aveia
0.0	'BIOFLG'	0.7	'PPDF(3)'	30.0	'PPDF(1)'	117.00	'PRDX(1)'
1800.0	'BIOK5'	3.5	'PPDF(4)'	45.0	'PPDF(2)'	18.0	'PPDF(1)'
0.5	'PLTMRF'	0.0	'BIOFLG'	1.0	'PPDF(3)'	35.0	'PPDF(2)'
150.0	'FULCAN'	1800.0	'BIOK5'	2.5	'PPDF(4)'	0.7	'PPDF(3)'
0.4	'FRTC(1)'	0.4	'PLTMRF'	0.0	'BIOFLG'	5.0	'PPDF(4)'
0.4	'FRTC(2)'	150.0	'FULCAN'	1800.0	'BIOK5'	0.0	'BIOFLG'
3.0	'FRTC(3)'	0.4	'FRTC(1)'	0.5	'PLTMRF'	1800.0	'BIOK5'
700.0	'BIOMAX'	0.4	'FRTC(2)'	150.0	'FULCAN'	0.4	'PLTMRF'
8.77	'PRAMN(1,1)'	3.0	'FRTC(3)'	0.5	'FRTC(1)'	150.0	'FULCAN'
150.0	'PRAMN(2,1)'	600.0	'BIOMAX'	0.1	'FRTC(2)'	0.6	'FRTC(1)'
190.0	'PRAMN(3,1)'	8.78	'PRAMN(1,1)'	3.0	'FRTC(3)'	0.1	'FRTC(2)'
46.25	'PRAMN(1,2)'	100.0	'PRAMN(2,1)'	700.0	'BIOMAX'	3.0	'FRTC(3)'
150.0	'PRAMN(2,2)'	100.0	'PRAMN(3,1)'	10.0	'PRAMN(1,1)'	600.0	'BIOMAX'
150.0	'PRAMN(3,2)'	35.0	'PRAMN(1,2)'	150.0	'PRAMN(2,1)'	12.0	'PRAMN(1,1)'
10.0	'PRAMX(1,1)'	160.0	'PRAMN(2,2)'	190.0	'PRAMN(3,1)'	100.0	'PRAMN(2,1)'
200.0	'PRAMX(2,1)'	200.0	'PRAMN(3,2)'	62.5	'PRAMN(1,2)'	100.0	'PRAMN(3,1)'
230.0	'PRAMX(3,1)'	17.5	'PRAMX(1,1)'	150.0	'PRAMN(2,2)'	40.0	'PRAMN(1,2)'
80.0	'PRAMX(1,2)'	200.0	'PRAMX(2,1)'	150.0	'PRAMN(3,2)'	160.0	'PRAMN(2,2)'
230.0	'PRAMX(2,2)'	230.0	'PRAMX(3,1)'	20.0	'PRAMX(1,1)'	200.0	'PRAMN(3,2)'
270.0	'PRAMX(3,2)'	70.0	'PRAMX(1,2)'	230.0	'PRAMX(2,1)'	25.0	'PRAMX(1,1)'
34.5	'PRBMN(1,1)'	260.0	'PRAMX(2,2)'	230.0	'PRAMX(3,1)'	200.0	'PRAMX(2,1)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	270.0	'PRAMX(3,2)'	125.0	'PRAMX(1,2)'	230.0	'PRAMX(3,1)'
340.0	'PRBMN(3,1)'	34.5	'PRBMN(1,1)'	230.0	'PRAMX(2,2)'	100.0	'PRAMX(1,2)'
0.0	'PRBMN(1,2)'	390.0	'PRBMN(2,1)'	230.0	'PRAMX(3,2)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
0.0	'PRBMN(2,2)'	340.0	'PRBMN(3,1)'	45.0	'PRBMN(1,1)'	270.0	'PRAMX(3,2)'
0.0	'PRBMN(3,2)'	0.0	'PRBMN(1,2)'	390.0	'PRBMN(2,1)'	45.0	'PRBMN(1,1)'
44.0	'PRBMX(1,1)'	0.0	'PRBMN(2,2)'	340.0	'PRBMN(3,1)'	390.0	'PRBMN(2,1)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	0.0	'PRBMN(3,2)'	0.0	'PRBMN(1,2)'	340.0	'PRBMN(3,1)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	44.0	'PRBMX(1,1)'	0.0	'PRBMN(2,2)'	0.0	'PRBMN(1,2)'
0.0	'PRBMX(1,2)'	420.0	'PRBMX(2,1)'	0.0	'PRBMN(3,2)'	0.0	'PRBMN(2,2)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	420.0	'PRBMX(3,1)'	60.0	'PRBMX(1,1)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
0.0	'PRBMX(3,2)'	0.0	'PRBMX(1,2)'	420.0	'PRBMX(2,1)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
0.15	'FLIGNI(1,1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'	420.0	'PRBMX(3,1)'	420.0	'PRBMX(2,1)'
0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'	0.0	'PRBMX(1,2)'	420.0	'PRBMX(3,1)'
0.06	'FLIGNI(1,2)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
0.0	'FLIGNI(2,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
0.4	'HIMAX'	0.06	'FLIGNI(1,2)'	0.12	'FLIGNI(1,1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
0.0	'HIWSF'	0.0	'FLIGNI(2,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'
2.0	'HIMON(1)'	0.35	'HIMAX'	0.06	'FLIGNI(1,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
1.0	'HIMON(2)'	0.0	'HIWSF'	0.0	'FLIGNI(2,2)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
0.6	'EFRGRN(1)'	1.0	'HIMON(1)'	0.4	'HIMAX'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
0.6	'EFRGRN(2)'	1.0	'HIMON(2)'	0.0	'HIWSF'	0.35	'HIMAX'
0.6	'EFRGRN(3)'	0.6	'EFRGRN(1)'	2.0	'HIMON(1)'	0.0	'HIWSF'
0.04	'VLOSSP'	0.6	'EFRGRN(2)'	1.0	'HIMON(2)'	1.0	'HIMON(1)'
0.0	'FSDETH(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'	0.75	'EFRGRN(1)'	1.0	'HIMON(2)'
0.0	'FSDETH(2)'	0.04	'VLOSSP'	0.6	'EFRGRN(2)'	0.6	'EFRGRN(1)'
0.0	'FSDETH(3)'	0.0	'FSDETH(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'	0.6	'EFRGRN(2)'
500.0	'FSDETH(4)'	0.0	'FSDETH(2)'	0.04	'VLOSSP'	0.6	'EFRGRN(3)'
0.12	'FALLRT'	0.0	'FSDETH(3)'	0.0	'FSDETH(1)'	0.04	'VLOSSP'
0.05	'RDR'	500.0	'FSDETH(4)'	0.0	'FSDETH(2)'	0.0	'FSDETH(1)'
2.0	'RTDTMP'	0.12	'FALLRT'	0.0	'FSDETH(3)'	0.0	'FSDETH(2)'
0.0	'CRPRTF(1)'	0.05	'RDR'	500.0	'FSDETH(4)'	0.0	'FSDETH(3)'
0.0	'CRPRTF(2)'	2.0	'RTDTMP'	0.1	'FALLRT'	200.0	'FSDETH(4)'
0.0	'CRPRTF(3)'	0.0	'CRPRTF(1)'	0.05	'RDR'	0.12	'FALLRT'
0.01	'SNFXMX(1)'	0.0	'CRPRTF(2)'	2.0	'RTDTMP'	0.05	'RDR'
-23.0	'DEL13C'	0.0	'CRPRTF(3)'	0.0	'CRPRTF(1)'	2.0	'RTDTMP'
1.0	'CO2IPR(1)'	0.02	'SNFXMX(1)'	0.0	'CRPRTF(2)'	0.0	'CRPRTF(1)'
0.77	'CO2ITR(1)'	-27.0	'DEL13C'	0.0	'CRPRTF(3)'	0.0	'CRPRTF(2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	1.3	'CO2IPR(1)'	0.0	'SNFXMX(1)'	0.0	'CRPRTF(3)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.77	'CO2ITR(1)'	-15.0	'DEL13C'	0.0	'SNFXMX(1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	1.0	'CO2IPR(1)'	(Segue)	
1.0	'CO2ICE(1,2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.77	'CO2ITR(1)'		
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'		

APÊNDICE 15. (continuação). Parâmetros do campo nativo e culturas usados como padrão no arquivo "CROP.100" para o Estudo 1. Nota: PRDX(1) variou conforme a necessidade da simulação.

-27.0	'DEL13C'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	1.0	'CO2IRS(1)'
1.3	'CO2IPR(1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'		weeds_de_inverno (adaptacao_aveia)
0.77	'CO2ITR(1)'	1.0	'CO2IRS(1)'	209.2	'PRDX(1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	E1	Weeds_modificado_VERAO	17.0	'PPDF(1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	200.000	'PRDX(1)'	35.0	'PPDF(2)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	27.0	'PPDF(1)'	0.5	'PPDF(3)'
1.3	'CO2ICE(1,2,1)'	45.0	'PPDF(2)'	5.0	'PPDF(4)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	1.0	'PPDF(3)'	0.0	'BIOFLG'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	3.0	'PPDF(4)'	1800.0	'BIOK5'
1.0	'CO2IRS(1) CN1	0.0	'BIOFLG'	0.4	'PLTMRF'
grass_mixed_75%warm_Bage		1800.0	'BIOK5'	150.0	'FULCAN'
118.46	'PRDX(1)'	0.2	'PLTMRF'	0.6	'FRTC(1)'
27.0	'PPDF(1)'	100.0	'FULCAN'	0.1	'FRTC(2)'
45.0	'PPDF(2)'	0.3	'FRTC(1)'	3.0	'FRTC(3)'
1.0	'PPDF(3)'	0.3	'FRTC(2)'	600.0	'BIOMAX'
3.0	'PPDF(4)'	1.0	'FRTC(3)'	12.0	'PRAMN(1,1)'
0.0	'BIOFLG'	400.0	'BIOMAX'	100.0	'PRAMN(2,1)'
60.0	'BIOK5'	30.0	'PRAMN(1,1)'	100.0	'PRAMN(3,1)'
1.0	'PLTMRF'	390.0	'PRAMN(2,1)'	57.0	'PRAMN(1,2)'
100.0	'FULCAN'	340.0	'PRAMN(3,1)'	160.0	'PRAMN(2,2)'
0.0	'FRTC(1)'	30.0	'PRAMN(1,2)'	200.0	'PRAMN(3,2)'
0.0	'FRTC(2)'	390.0	'PRAMN(2,2)'	25.0	'PRAMX(1,1)'
0.0	'FRTC(3)'	340.0	'PRAMN(3,2)'	200.0	'PRAMX(2,1)'
400.0	'BIOMAX'	40.0	'PRAMX(1,1)'	230.0	'PRAMX(3,1)'
30.0	'PRAMN(1,1)'	440.0	'PRAMX(2,1)'	125.0	'PRAMX(1,2)'
390.0	'PRAMN(2,1)'	440.0	'PRAMX(3,1)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
340.0	'PRAMN(3,1)'	40.0	'PRAMX(1,2)'	270.0	'PRAMX(3,2)'
90.0	'PRAMN(1,2)'	440.0	'PRAMX(2,2)'	45.0	'PRBMN(1,1)'
390.0	'PRAMN(2,2)'	440.0	'PRAMX(3,2)'	390.0	'PRBMN(2,1)'
340.0	'PRAMN(3,2)'	50.0	'PRBMN(1,1)'	340.0	'PRBMN(3,1)'
35.0	'PRAMX(1,1)'	390.0	'PRBMN(2,1)'	0.0	'PRBMN(1,2)'
440.0	'PRAMX(2,1)'	340.0	'PRBMN(3,1)'	0.0	'PRBMN(2,2)'
440.0	'PRAMX(3,1)'	0.0	'PRBMN(1,2)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
95.0	'PRAMX(1,2)'	0.0	'PRBMN(2,2)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
440.0	'PRAMX(2,2)'	0.0	'PRBMN(3,2)'	420.0	'PRBMX(2,1)'
440.0	'PRAMX(3,2)'	55.0	'PRBMX(1,1)'	420.0	'PRBMX(3,1)'
50.0	'PRBMN(1,1)'	420.0	'PRBMX(2,1)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	420.0	'PRBMX(3,1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
340.0	'PRBMN(3,1)'	0.0	'PRBMX(1,2)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
55.0	'PRBMX(1,1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	0.05	'FLIGNI(1,1)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
0.0	'PRBMX(1,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'	0.35	'HIMAX'
0.0	'PRBMX(3,2)'	0.1	'FLIGNI(2,2)'	0.25	'HIWSF'
0.02	'FLIGNI(1,1)'	0.3	'HIMAX'	1.0	'HIMON(1)'
0.0012	'FLIGNI(2,1)'	0.0	'HIWSF'	1.0	'HIMON(2)'
0.26	'FLIGNI(1,2)'	2.0	'HIMON(1)'	0.6	'EFRGRN(1)'
-0.0015	'FLIGNI(2,2)'	1.0	'HIMON(2)'	0.6	'EFRGRN(2)'
0.0	'HIWSF'	0.2	'EFRGRN(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'
2.0	'HIMON(1)'	0.0	'EFRGRN(2)'	0.04	'VLOSSP'
1.0	'HIMON(2)'	0.0	'EFRGRN(3)'	200.0	'FSDETH(4)'
0.15	'VLOSSP'	0.15	'VLOSSP'	0.12	'FALLRT'
0.2	'FSDETH(1)'	0.2	'FSDETH(1)'	0.05	'RDR'
0.95	'FSDETH(2)'	0.95	'FSDETH(2)'	2.0	'RTDTMP'
0.2	'FSDETH(3)'	0.2	'FSDETH(3)'	0.0	'SNFXMX(1)'
150.0	'FSDETH(4)'	150.0	'FSDETH(4)'	-27.0	'DEL13C'
0.15	'FALLRT'	0.18	'FALLRT'	1.3	'CO2IPR(1)'
0.15	'RDR'	0.05	'RDR'	0.77	'CO2ITR(1)'
2.0	'RTDTMP'	2.0	'RTDTMP'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'
0.30	'CRPRTF(1)'	-18.0	'DEL13C'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
0.0	'SNFXMX(1)'	1.075	'CO2IPR(1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'
-18.0	'DEL13C'	0.77	'CO2ITR(1)'	1.3	'CO2ICE(1,2,1)'
1.075	'CO2IPR(1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'
0.77	'CO2ITR(1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	1.0	'CO2IRS(1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	1.075	'CO2ICE(1,2,1)'		
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'		
1.075	'CO2ICE(1,2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'		

variáveis omitidas = valor nulo.

APÊNDICE 16. Exemplo de arquivo de manejo usado para a parametrização no primeiro e no Segundo Estudo.

1 Starting year
 6000 Last year
 PVd2eq.100 Site file name
 0 Labeling type
 -1 Labeling year
 -1.00 Microcosm
 -1 CO2 Systems
 1 Initial system
 CN1 Initial crop
 Initial tree

Year Month Option

1 Block # Grassland, COM PASTEJO baixo, sem efeito linear
 6000 Last year
 4 Repeats # years
 1 Output starting year
 1 Output month
 100.0 Output interval
 M Weather choice
 1 1 CROP CN1
 1 1 GRAZ GL 2 GRAZ GL 3 GRAZ GL 4 GRAZ GL 5 GRAZ GL 6 GRAZ GL
 1 7 GRAZ GL 8 GRAZ GL 9 GRAZ GL 9 FRST 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12 GRAZ GL
 2 1 GRAZ GL 2 GRAZ GL 3 GRAZ GL 4 GRAZ GL 5 GRAZ GL 6 GRAZ GL
 2 7 GRAZ GL 8 GRAZ GL 9 GRAZ GL 9 FRST 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12 GRAZ GL
 3 1 GRAZ GL 2 GRAZ GL 3 GRAZ GL 4 GRAZ GL 5 GRAZ GL 6 GRAZ GL
 3 7 GRAZ GL 8 GRAZ GL 9 GRAZ GL 9 FRST 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12 GRAZ GL
 4 1 GRAZ GL 2 GRAZ GL 3 GRAZ GL 4 GRAZ GL 5 GRAZ GL 6 GRAZ GL
 4 7 GRAZ GL 8 GRAZ GL 9 GRAZ GL 9 FRST 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12 GRAZ GL
 -999 X

APÊNDICE 17. Exemplo de arquivo de manejo usado para a parametrização no Segundo Estudo.

1985 Starting year
 2150 Last year
 base85.100 Site file name (arquivo de base)
 0 Labeling type
 -1 Labeling year
 -1.00 Microcosm
 -1 CO2 Systems
 1 Initial system
 AVPDCE Initial crop
 Initial tree

Year Month Option

1 Block # a v + m c avpdcoe e mcpdcoe no *CROP.100* PC AVMC
 2150 Last year
 3 Repeats # years
 1985 Output starting year
 12 Output month
 1.0000 Output interval
 M Weather choice
 1 1 CROP AVPDCE
 1 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 CROP AVPDCE 4 PLTM 4 CULT N
 1 9 LAST 9 CULT P 10 CROP MCPDCE 10 PLTM 10 CULT D 10 FERT N46 11 FERT N92
 1 12 EROD 0.01
 2 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 CROP AVPDCE 4 PLTM 4 CULT N
 2 9 LAST 9 CULT P 10 CROP MCPDCE 10 PLTM 10 CULT D 10 FERT N46 11 FERT N92
 2 12 EROD 0.01
 3 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 CROP AVPDCE 4 PLTM 4 CULT N
 3 9 LAST 9 CULT P 10 CROP MCPDCE 10 PLTM 10 CULT D 10 FERT N46 11 FERT N92
 3 12 EROD 0.01
 -999 X

APÊNDICE 18. Exemplo de arquivo de manejo para os 15 anos anteriores ao experimento usado para o Segundo Estudo.

1970 Starting year
 1984 Last year
 sjbasedef.100 Site file name
 0 Labeling type
 -1 Labeling year
 -1.00 Microcosm
 -1 CO2 Systems
 1 Initial system
 E2 Initial crop
 Initial tree

Year Month Option

1970 Block # Experimentos com colza e girassol E1 e E2 no *CROP.100*
 1984 Last year
 4 Repeats # years
 1970 Output starting year
 12 Output month
 1 Output interval
 M Weather choice
 1 1 CROP E2
 1 2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 PLTM 4 CROP E2 4 FERT N1 5 FERT N45
 9 LAST 9 HARV G
 1 10 CULT P 11 PLTM 11 CROP E1 11 FERT N1 12 FERT N45 12 EROD
 0.01
 2 2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 PLTM 4 CROP E2 4 FERT N1 5 FERT N45
 9 LAST 9 HARV G
 2 10 CULT P 11 PLTM 11 CROP E1 11 FERT N1 12 FERT N45 12 EROD
 0.01
 3 2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 PLTM 4 CROP E2 4 FERT N1 5 FERT N45
 9 LAST 9 HARV G
 3 10 CULT P 11 PLTM 11 CROP E1 11 FERT N1 12 FERT N45 12 EROD
 0.01
 4 2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 PLTM 4 CROP E2 4 FERT N1 5 FERT N45
 9 LAST 9 HARV G
 4 10 CULT P 11 PLTM 11 CROP E1 11 FERT N1 12 FERT N45 12 EROD
 0.01
 -999 X

APÊNDICE 19. Exemplo de arquivo fixo *FIX.100* padrão usado para a parametrização no primeiro e no segundo Estudo.

X	Fixed_values	0.80000	'FWLOSS(1)'	0.20000	'PSECMN(3)'
15.00000	'ADEP(1)'	0.80000	'FWLOSS(2)'	0.00000	'PSECOC'
15.00000	'ADEP(2)'	0.65000	'FWLOSS(3)'	12.00000	'RAD1P(1,1)'
15.00000	'ADEP(3)'	0.90000	'FWLOSS(4)'	3.00000	'RAD1P(2,1)'
15.00000	'ADEP(4)'	-0.12500	'FXMCA'	5.00000	'RAD1P(3,1)'
30.00000	'ADEP(5)'	0.00500	'FXMCB'	220.000000	'RAD1P(1,2)'
30.00000	'ADEP(6)'	0.35000	'FXMXS'	5.00000	'RAD1P(2,2)'
30.00000	'ADEP(7)'	7.00000	'FXNPB'	100.00000	'RAD1P(3,2)'
30.00000	'ADEP(8)'	0.00000	'GREMB'	220.000000	'RAD1P(1,3)'
0.00000	'ADEP(9)'	2.00000	'DEF'	5.00000	'RAD1P(2,3)'
0.00000	'ADEP(10)'	0.20000	'LHZF(1)'	100.00000	'RAD1P(3,3)'
-40.00000	'AGPPA'	0.40000	'LHZF(2)'	200.00000	'RCESTR(1)'
7.70000	'AGPPB'	0.80000	'LHZF(3)'	500.00000	'RCESTR(2)'
1.50000	'ANEREF(1)'	18.00000	'MINLCH'	500.00000	'RCESTR(3)'
3.00000	'ANEREF(2)'	0.00000	'NSNFLX'	0.01500	'RICTRL'
0.30000	'ANEREF(3)'	4.00000	'NTSPM'	0.80000	'RIINT'
5.00000	'ANIMPT'	0.03000	'OMLECH(1)'	0.30000	'RSPLIG'
0.80000	'AWIL(1)'	0.12000	'OMLECH(2)'	-1.00000	'SEED'
0.60000	'AWIL(2)'	60.00000	'OMLECH(3)'	0.85000	'SPL(1)'
0.40000	'AWIL(3)'	0.60000	'P1CO2A(1)'	0.01300	'SPL(2)'
0.30000	'AWIL(4)'	0.17000	'P1CO2A(2)'	5000.00000	'STRMAX(1)'
0.20000	'AWIL(5)'	0.00000	'P1CO2B(1)'	5000.00000	'STRMAX(2)'
0.20000	'AWIL(6)'	0.68000	'P1CO2B(2)'	1.00000	'TEXEPP(1)'
0.20000	'AWIL(7)'	0.55000	'P2CO2'	0.70000	'TEXEPP(2)'
0.20000	'AWIL(8)'	0.55000	'P3CO2'	0.00010	'TEXEPP(3)'
0.00000	'AWIL(9)'	100.00000	'PABRES'	0.00016	'TEXEPP(4)'
0.00000	'AWIL(10)'	16.00000	'PCEMIC(1,1)'	2.00000	'TEXEPP(5)'
100.00000	'BGPPA'	200.00000	'PCEMIC(1,2)'	1.00000	'TEXESP(1)'
7.00000	'BGPPB'	150.00000	'PCEMIC(1,3)'	0.00400	'TEXESP(3)'
350.00000	'CO2PPM(1)'	10.00000	'PCEMIC(2,1)'	0.00000	'TEFF(1)'
700.00000	'CO2PPM(2)'	99.00000	'PCEMIC(2,2)'	0.12500	'TEFF(2)'
0.00000	'CO2RMP'	50.00000	'PCEMIC(2,3)'	0.07000	'TEFF(3)'
0.00000	'DAMR(1,1)'	0.02000	'PCEMIC(3,1)'	-8.00000	'TMELT(1)'
0.00000	'DAMR(1,2)'	0.00150	'PCEMIC(3,2)'	4.00000	'TMELT(2)'
0.01000	'DAMR(1,3)'	0.00150	'PCEMIC(3,3)'	14.00000	'VARAT1(1,1)'
0.02000	'DAMR(2,1)'	0.25000	'PEFTXA'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
0.02000	'DAMR(2,2)'	0.75000	'PEFTXB'	2.00000	'VARAT1(3,1)'
0.04000	'DAMR(2,3)'	6.00000	'PHESP(1)'	150.0000	'VARAT1(1,2)'
15.00000	'DAMRMN(1)'	0.00080	'PHESP(2)'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
150.00000	'DAMRMN(2)'	7.60000	'PHESP(3)'	2.00000	'VARAT1(3,2)'
150.00000	'DAMRMN(3)'	0.01500	'PHESP(4)'	200.0000	'VARAT1(1,3)'
3.90000	'DEC1(1)'	3.00000	'PLIGST(1)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
4.90000	'DEC1C(2)'	3.00000	'PLIGST(2)'	2.00000	'VARAT1(3,3)'
14.80000	'DEC2(1)'	0.55000	'PMCO2(1)'	20.00000	'VARAT2(1,1)'
18.50000	'DEC2(2)'	0.55000	'PMCO2(2)'	12.00000	'VARAT2(2,1)'
6.00000	'DEC3(1)'	0.00000	'PMNSEC(1)'	2.00000	'VARAT2(3,1)'
7.30000	'DEC3(2)'	0.00000	'PMNSEC(2)'	400.00000	'VARAT2(1,2)'
0.00450	'DEC4'	2.00000	'PMNSEC(3)'	100.0000	'VARAT2(2,2)'
0.20000	'DEC5'	0.00400	'PMNTMP'	2.00000	'VARAT2(3,2)'
5.00000	'DECK5'	600.00000	'PMXBIO'	400.00000	'VARAT2(1,3)'
-4.00000	'DLIGDF'	-0.00350	'PMXTMP'	100.0000	'VARAT2(2,3)'
0.99900	'DRESP'	0.00000	'PPARMN(1)'	2.00000	'VARAT2(3,3)'
0.20000	'EDEPTH'	0.00010	'PPARMN(2)'	8.00000	'VARAT3(1,1)'
0.40000	'ELITST'	0.00050	'PPARMN(3)'	6.00000	'VARAT3(2,1)'
2.00000	'ENRICH'	0.00000	'PPRPTS(1)'	2.00000	'VARAT3(3,1)'
0.90000	'FAVAIL(1)'	1.00000	'PPRPTS(2)'	200.00000	'VARAT3(1,2)'
0.50000	'FAVAIL(3)'	0.80000	'PPRPTS(3)'	50.00000	'VARAT3(2,2)'
0.20000	'FAVAIL(4)'	0.45000	'PS1CO2(1)'	2.00000	'VARAT3(3,2)'
0.40000	'FAVAIL(5)'	0.55000	'PS1CO2(2)'	200.00000	'VARAT3(1,3)'
2.00000	'FAVAIL(6)'	0.00300	'PS1S3(1)'	50.00000	'VARAT3(2,3)'
0.20000	'FLEACH(1)'	0.03200	'PS1S3(2)'	2.00000	'VARAT3(3,3)'
0.70000	'FLEACH(2)'	0.00300	'PS2S3(1)'	0.02000	'VLOSSE'
1.00000	'FLEACH(3)'	0.00900	'PS2S3(2)'	0.01000	'VLOSSG'
0.00000	'FLEACH(4)'	0.00000	'PSECMN(1)'	<i>FIX.100</i> de mesic/subhumid grassland	
0.10000	'FLEACH(5)'	0.00220	'PSECMN(2)'	05/04/00	11:40

APÊNDICE 20. Kayser pergunta a Flavia....



1. VITA

Flavia Fontana Fernandes, filha de Dino e Maria Aparecida Fontana, nasceu em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, em 12 de julho de 1964.

Cursou ensino primário fundamental na Escola Criança Feliz. A partir da quinta série primária e o segundo grau mudou-se para o Instituto de Educação Juvenal Miller, em Rio Grande, Rio Grande do Sul.

Em 1982 ingressou no Curso de Agronomia da UFPel, onde graduou-se como Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 1986.

Em 1986 iniciou curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração fertilidade do Solo, sob a orientação do professor Humberto Bohnen até julho de 1989.

Em julho de 1989 foi contratada pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, na Área de Solos, para a cidade de Ponta Grossa. Trabalhou com manejo de fertilidade do solo, sistemas de preparo, culturas de cobertura, adubação nitrogenada para trigo e canola, sistemas de manejo com tração animal voltados para a pequena propriedade até 1995.

Em 1995 prestou concurso público para professor assistente do Departamento de Solos da UFPel, onde ingressou em agosto de 1995, no setor de Fertilidade do Solo. Em 1997 exerceu as atividades de Subchefe e Chefe do Departamento de Solos, foi membro da Comissão de Estágios entre 1996 e 1997, e participou da elaboração do Plano de Desenvolvimento do DS, pelo qual suas atividades ficaram alocadas ao manejo da fertilidade dos solos de coxilha na região.

Em março de 1998, iniciou seus estudos de Doutorado em Ciência do Solo - Área de Concentração Manejo do Solo, sob orientação do Prof. João Mielniczuk, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, com o intuito de trabalhar com manejo de matéria orgânica dos solos.

É casada com José Carlos Fernandes Filho e mãe de Marina e Guilherme.