

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

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA AVALIAR A DINÂMICA DO
CARBONO DO SOLO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL**

**Fabíola Lopes
(Dissertação)**

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

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA AVALIAR A DINÂMICA DO
CARBONO DO SOLO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL**

FABÍOLA LOPES
Engenheira-Agrônoma (UFRGS)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2006

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rui e Luíza, pela compreensão, amor, dedicação e incentivo durante toda a minha formação acadêmica. Que mesmo a distância, nunca mediram esforços, e me apoiaram em todos os momentos. Ao meu irmão Juliano e demais familiares, pelo carinho e amizade.

Ao meu namorado Rafa, pelo companheirismo, amor, compreensão e carinho durante todo o período do mestrado. Período o qual, por sermos colegas, compartilhamos juntos as mesmas aflições e alegrias. Pelo incentivo e ajuda, que foram essenciais para que eu pudesse superar todas as minhas dificuldades, e pela “parceria” nas horas de aliviar o estresse do mestrado.

Ao Prof. Gustavo H. Merten, pela orientação, pelo exemplo profissional, paciência, estímulo e apoio nos momentos de incertezas. Pela permanente disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e acompanhamento do trabalho. Pela empolgação e dedicação nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. João Mielniczuk, pelo seu exemplo de profissional, pela sua capacidade de trabalho, pela sua serenidade, pela orientação, sugestões, amizade e respeito.

À UFRGS pela minha formação acadêmica e pela possibilidade de realizar este trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À amiga e colega Nilvania pela sua dedicação, pelas discussões, colaboração, sugestões e amizade que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À Elisandra e ao Gustavo Tornquist pelo tempo dedicado e paciência para me ensinar a usar o modelo *Century*, pela amizade e pelo respeito.

Ao Prof. Alfonso Risso pela paciência, compreensão, amizade e pelo tempo dedicado, apesar dos seus compromissos, para me ensinar e esclarecer dúvidas sobre o programa Spring.

Aos moradores da bacia pela boa vontade em responder os questionários e carinho que me trataram todas as vezes que estive na região, em especial a Prof. Nilva, pela ajuda na reconstituição histórica da bacia, dados que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À EMATER/RS e UFSM pela disponibilidade de dados e informações importantes para o êxito deste trabalho.

Aos professores de Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela oferta do curso e das disciplinas.

Ao Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, em especial ao Prof. Moacir Berlato, pelos longos anos de orientação durante a iniciação científica, pela amizade e pela disponibilidade de dados meteorológicos essenciais neste trabalho.

Ao CEPSSRM – UFRGS, em especial à Prof.^a Denise C. Fontana, pela disponibilidade de imagens de satélite.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial os colegas do manejo do solo e Luis e Samuel da gênese, pela amizade, cumplicidade e momentos de descontração.

Ao pessoal do Laboratório de Sedimentos do IPH, Amauri, Bruno, Cristiano, Jean, Melissa e bolsistas de iniciação científica, pela amizade e apoio na realização deste trabalho.

Aos meus amigos de coração daqui de Porto Alegre e de Garibaldi que sempre estiveram presente, pelo carinho e amizade. Pela torcida, apoio e momentos de descontração que, com certeza, tornaram esta jornada mais fácil.

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Solos da UFRGS e ao Jader pelos esclarecimentos, amizade e respeito.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram nesta jornada, meu sincero agradecimento.

UTILIZAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA AVALIAR A DINÂMICA DO CARBONO DO SOLO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL^{1/}

Autor: Fabíola Lopes

Orientador: Prof. Gustavo H. Merten

RESUMO

Este trabalho refere-se a utilização do modelo computacional *Century* que permite a simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) quando submetido ao uso agrícola ou florestal. O modelo *Century* combinado com técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foi utilizado para avaliar a dinâmica espaço temporal do COS de uma pequena bacia hidrográfica rural (PBHR) localizada na encosta superior do nordeste do Rio Grande do Sul que vem sendo submetida ao cultivo de fumo desde os anos 60. Resultados deste trabalho mostraram que o maior impacto da exploração agrícola sobre o estoque original de COS ocorreu sobre a unidade de simulação da unidade de mapeamento 3 (UM 3), composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd, utilizada com agricultura desde 1925, onde verificou-se para um período de oitenta anos um decréscimo de 60% do carbono orgânico total (COT) original do solo. Por outro lado, verificou-se que as menores alterações do COS ocorreram na unidade de simulação da unidade de mapeamento 1 (UM 1), composta pelos solos ACt1+CXvd+RRd, onde a transformação da floresta em área cultivada ocorreu no ano de 1985. Nessa unidade houve um decréscimo de 28% do COT original do solo em 20 anos de cultivo intensivo com a cultura do fumo (1985 a 2005). Nas simulações dos cenários futuros para um período de cinquenta anos (2005 a 2055), verificou-se que somente o sistema de plantio direto com rotação de fumo-aveia / milho-aveia foi capaz recuperar o conteúdo de COS das áreas cultivadas da bacia.

^{1/}

Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (129 p.) Março, 2006. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

USE OF THE CENTURY MODEL TO EVALUATE SOIL CARBON DYNAMICS IN A SMALL RURAL WATERSHED ^{1/}

Author: Fabíola Lopes

Adviser: Prof. Gustavo H. Merten

ABSTRACT

Century is a computerized modeling program that can be used to simulate the dynamics of soil organic carbon (SOC) under different land uses. In this study, the Century model was combined with geoprocessing and remote sensing techniques to evaluate changes in SOC over time and space in a small rural watershed on the upper slope of the Rio-Grandense plateau, in northeastern Rio Grande do Sul, Brazil. The study area has been used for tobacco cultivation since the 1960s. Results show that the greatest decline in SOC due to agriculture occurred on the simulation unit in which unit of mapping 3 (UM 3), composed for soils Dystrudept and Hapludult, has been under cultivation since 1925. In this unit, there was a 60% decrease in total organic carbon over the course of 80 years (1925-2005). The simulation unit with the least significant impact on SOC represents unit of mapping 1 (UM 1), composed for soils Paleudult, Dystrudept and Hapludult, that was converted from forest into agricultural use in 1985. This unit showed a 28% decrease in total organic carbon over 20 years of intensive cropping (1985 to 2005). Simulations of possible scenarios for the next 50 years showed that only a no-till system rotating tobacco-oats / maize-oats would be capable of restoring the SOC content of the cultivated areas of the watershed.

^{1/} M.Sc. Dissertation in Soil Science – Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil. (129 p.) March, 2006.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| 1 INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 04 |
| 2.1. O ciclo global do carbono..... | 04 |
| 2.2. A dinâmica do carbono orgânico no solo | 05 |
| 2.3. Efeitos da diminuição do carbono orgânico à qualidade do solo..... | 08 |
| 2.4. Modelos computacionais no estudo da dinâmica do carbono orgânico..... | 10 |
| 2.4.1. Modelo <i>Century</i> | 12 |
| 2.4.1.1. Aplicação do modelo <i>Century</i> no Brasil..... | 12 |
| 2.4.1.2. Estrutura de funcionamento do modelo <i>Century</i> | 14 |
| 2.4.1.3. Submodelo do carbono orgânico – compartimentos e fluxos..... | 16 |
| 2.5. Acoplamentos de modelos de dinâmica de nutrientes e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) | 22 |
| 2.6. A modelagem dinâmica espacialmente explícita..... | 23 |
| 3. HIPÓTESE | 26 |
| 4. OBJETIVOS | 27 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 28 |
| 5.1. Descrição da área de estudo..... | 28 |
| 5.2. Amostragem de solo para determinação do COT..... | 33 |
| 5.2.1. Procedimento de coleta e análises laboratoriais | 34 |
| 5.2.1.1. COS e textura..... | 34 |
| 5.2.1.2. Densidade global do solo..... | 34 |
| 5.3. Implementação do Sistema de Informações Geográficas (SIG) | 35 |
| 5.3.1 Base cartográfica (mapa-base)..... | 35 |
| 5.3.2. Vegetação original..... | 35 |
| 5.3.3. Evolução de uso e manejo dos solos..... | 35 |
| 5.3.4. Solos..... | 37 |
| 5.3.5. Cruzamentos dos Planos de Informação (PI's)..... | 39 |

| | Página |
|---|------------|
| 5.4. Elaboração das unidades de simulação..... | 40 |
| 5.5. Obtenção das variáveis de entrada do modelo <i>Century</i> | 43 |
| 5.6. Elaboração dos cenários de manejo..... | 46 |
| 5.7. Cálculo do potencial de “seqüestro” de carbono na PBHR..... | 50 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 51 |
| 6.1. Parametrização inicial do modelo <i>Century</i> por simulações de equilíbrio para situação de mata subtropical nas três Unidades de Mapeamento de solos..... | 51 |
| 6.2. Evolução do uso e manejo do solo na PBHR..... | 54 |
| 6.3. Elaboração do mapa de tempo de uso agrícola dos solos da PBHR..... | 61 |
| 6.4. Unidades de Simulação | 64 |
| 6.5. Simulação dos estoques de CO nos solos da PBHR..... | 66 |
| 6.5.1. Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 3 (UM 3)..... | 67 |
| 6.5.2. Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 2 (UM 2)..... | 71 |
| 6.5.3. Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 1 (UM 1)..... | 73 |
| 6.6. Evolução dos estoques de COT do solo: cenários futuros..... | 78 |
| 6.6.1. Evolução do teor futuro de COT do solo sob o sistema de cultivo mínimo sem rotação e com rotação de culturas nas três Unidades de Mapeamento de solos encontradas na PBHR..... | 79 |
| 6.6.2. Evolução dos estoques de COT no solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico sob diferentes sistemas de preparo do solo sem rotação e com rotação de culturas..... | 84 |
| 6.7. Modelagem da dinâmica espacialmente explícita do COT na PBHR..... | 90 |
| 6.8. Estimativa de seqüestro de CO ₂ nas Unidades de Simulação sob cultivo mínimo..... | 92 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 96 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 97 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 99 |
| 10. APÊNDICES..... | 108 |

RELAÇÃO DE TABELAS

| | Página |
|--|--------|
| 01. Distribuição dos compartimentos de C do solo sob vegetação no modelo <i>Century</i> | 18 |
| 02. Identificação das Unidades de Mapeamento (UM) da PBHR, com o símbolo da composição de solos e a proporção estimada de cada componente da associação de solos..... | 38 |
| 03. Valores da perda de solo por erosão estimados pela EUPS para os diferentes tipos de solo da PBHR e corrigida de acordo com o tipo de solo..... | 45 |
| 04. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1925 a 2055..... | 47 |
| 05. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1945 a 2055..... | 48 |
| 06. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1965 a 2055..... | 49 |
| 07. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1985 a 2055..... | 49 |
| 08. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 2005 a 2055..... | 50 |
| 09. Estoques de carbono orgânico total (COT) e de carbono (C) nos diferentes compartimentos obtidos pela simulação de equilíbrio nos solos sob floresta subtropical..... | 52 |
| 10. Estoques de carbono orgânico total (COT) e de carbono (C) nos diferentes compartimentos obtidos com o Modelo <i>Century</i> por diversos autores..... | 53 |
| 11. Evolução quantitativa do uso do solo na PBHR nos anos de 1925, 1935, 1945, 1965, 1985 e 2005..... | 58 |

| | Página |
|---|--------|
| 12. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 3 obtidas através de simulação pelo modelo <i>Century</i> | 69 |
| 13. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 2 obtidas através de simulação pelo modelo <i>Century</i> | 73 |
| 14. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 1 obtidas através de simulação pelo modelo <i>Century</i> | 75 |
| 15. Estimativa do seqüestro de CO ₂ nas unidades de simulação para o ano de 2055 sob sistema de CM com rotação e sem rotação de culturas..... | 94 |

RELAÇÃO DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| 01. Ambiente do modelo <i>Century</i> , mostrando as relações entre os programas e a estrutura de arquivos (adaptado de Metherell et al., 1994)..... | 15 |
| 02. Submodelo da MO (adaptado de Metherell et al., 1994)..... | 17 |
| 03. Localização da PBHR do arroio Lajeado Ferreira, município de Arvorezinha, Rio Grande do Sul..... | 28 |
| 04. Representação em perspectiva tridimensional vista de Sul (a) e de norte (b) da PBRH do arroio Lajeado Ferreira..... | 30 |
| 05. Uso atual do solo na PBHR do arroio Lajeado Ferreira..... | 32 |
| 06. Localização dos pontos de amostragem do solo na PBHR (Mello, 2004)..... | 33 |
| 07. Mapa temático das Unidades de Mapeamento (UM) encontradas na PBHR compilado a partir do mapa da EMATER (FEPAGRO, 2005)..... | 39 |
| 08. Representação esquemática dos cruzamentos dos PI's dos tempos de agricultura na PBHR..... | 41 |
| 09. Representação esquemática dos cruzamentos dos PI's da evolução do uso e manejo do solo e as três Unidades de Mapeamento encontradas na PBHR, os quais originaram as unidades de simulação. Esta figura está representando apenas uma das cinco classes de tempo de agricultura..... | 42 |
| 10. Mapa temático do uso do solo na PBHR em 1965, baseado no registro aerofotogramétrico de 1965..... | 56 |
| 11. Uso do solo provável na PBHR no ano de 1925..... | 57 |
| 12. Estimativa da evolução do uso do solo na PBHR nos anos de 1925, 1935, 1945, 1955 e 1965..... | 59 |

| | | |
|-----|---|----|
| 13. | Estimativa da evolução do uso do solo na PBHR nos anos de 1985 e 2005..... | 60 |
| 14. | Evolução do uso do solo na PBHR, período de 1925 a 2005.... | 61 |
| 15. | Área de lavouras novas na PBHR nos anos de 1925, 1945, 1965, 1985 e 2005..... | 62 |
| 16. | Alterações do uso do solo e das áreas agrícolas nos anos de 2002, 2003 e 2004 na PBHR..... | 63 |
| 17. | Representação espacial das unidades de simulação utilizadas nas simulações do modelo <i>Century</i> | 65 |
| 18. | Expansão da área agrícola (%) nas três diferentes Unidades de Mapeamento (UM) de solo encontradas na bacia nos diferentes períodos de tempo..... | 66 |
| 19. | Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo <i>Century</i> na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 3..... | 70 |
| 20. | Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo <i>Century</i> na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 2..... | 76 |
| 21. | Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo <i>Century</i> na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 1..... | 77 |
| 22. | Simulação dos estoques futuros de COT dos solos da UM 3 sob cultivo mínimo sem rotação de culturas (a) e com rotação de culturas (b)..... | 80 |
| 23. | Simulação dos estoques futuros de COT dos solos da UM 2 sob cultivo mínimo sem rotação de culturas (a) e com rotação de culturas (b)..... | 83 |
| 24. | Simulação dos estoques futuros de COT do solo Alissolo sob cultivo mínimo sem rotação de culturas (a) e com rotação de culturas (b)..... | 84 |

| | | |
|------------|---|----|
| 25. | COT do solo simulado pelo Modelo <i>Century</i> na camada de 0 a 20 cm para área do solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico, para diferentes sistemas de preparo do solo, sem rotação e com rotação de culturas..... | 86 |
| 26. | Diferenças em cada unidade de simulação do sistema de CM com rotação de culturas e sem rotação de culturas..... | 91 |

RELAÇÃO DE APÊNDICES

| | Página |
|--|--------|
| 01. Dados mensais de precipitação e temperaturas mínima e máxima do ar referentes ao período de 1950 a 2000 utilizado pelo modelo <i>Century</i> nas simulações dos diferentes tipos de solo encontrados na PBHR. Dados cedidos gentilmente pelo Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS da estação meteorológica de Passo Fundo..... | 109 |
| 02. Exemplo de parâmetros locais (SITE.100) do modelo <i>Century</i> utilizados nas simulações da UM 3 com base em dados reais de clima e solo da área em estudo..... | 110 |
| 03. Dados de granulometria dos solos encontrados na PBHR e que foram utilizados nas simulações do modelo <i>Century</i> | 112 |
| 04. Parâmetros do arquivo CROP.100 do modelo <i>Century</i> utilizados nas simulações realizadas nos diferentes tipos de solos da PBHR..... | 113 |
| 05. Parâmetros do arquivo TREE.100 do modelo <i>Century</i> utilizados nas simulações de equilíbrio – parametrização do modelo..... | 118 |
| 06. Organização do arquivo Alissolo_1925_2055.SCH formando o cenário de manejo de floresta nativa, agricultura de subsistência (PC com milho e trigo), pousio de 5 anos, PC com fumo/pousio, pousio de 10 anos, PC com fumo/aveia e CM com fumo/aveia utilizado pelo modelo <i>Century</i> nas simulações da UM 1, no período de 1925 a 2055..... | 120 |
| 07. Parâmetros do arquivo GRAZ.100 do modelo <i>Century</i> utilizados nas simulações de pousio de 5 e 10 anos nos solos da PBHR..... | 125 |
| 08. Organização do arquivo Cambissolo_1965_2055.SCH formando o cenário de manejo de floresta nativa, PC com fumo/pousio, pousio de 10 anos, pousio de 5 anos, PC com fumo/aveia e PD fumo/aveia utilizado pelo modelo <i>Century</i> nas simulações da UM 2, no período de 1955 a 2055..... | 126 |

1. INTRODUÇÃO

A chegada dos imigrantes europeus no Rio Grande do Sul, no final do século XIX, representa o processo de povoamento territorial mais recente no estado, sendo que os primeiros grupamentos ocuparam inicialmente as áreas de várzeas e os demais foram se localizando nas regiões da serra e norte.

Segundo Brum (1999) o processo de ocupação da área de mata localizadas nas áreas de serra no Rio Grande do Sul apresentou algumas características comuns: a) pequenas propriedades que, com as partilhas por herança, deram origem ao minifúndio; b) a prática do policultivo e a criação de animais, destinados ao abastecimento da família e o excedente para a comercialização; c) cultivo baseado na fertilidade natural do solo e o uso da mão-de-obra direta familiar.

A intensa exploração do solo provocou o rápido esgotamento da sua fertilidade, chegando a muitos casos à quase exaustão. Esses fatores, acrescidos da contínua transferência de renda dos agricultores para os comerciantes e indústrias, através da diferença no preço dos produtos (preços baixos para os produtos agrícolas que o produtor vendia e preços mais elevados pelos bens que a família rural adquiria no comércio) explicam, em parte, a estagnação e mesmo o declínio desta agricultura.

No Rio Grande do Sul, grande parte das regiões agrícolas mais pobres coincidem com as regiões cujas terras apresentam baixa aptidão para a agricultura. Neste contexto, insere-se a cultura do fumo que é tipicamente cultivado em pequenas propriedades e sobre áreas de baixa aptidão agrícola devido, principalmente, à alta declividade do terreno. Essa condição aliada a

pouca utilização de práticas voltadas para a conservação do solo faz com que os problemas de erosão hídrica sejam bastante acentuados nessas áreas.

Programas de manejo dos recursos naturais tem sido, então, implementados em alguns estados do sul do Brasil com o propósito de atenuar os efeitos negativos causados por atividades agrícolas. No Rio Grande do Sul, por exemplo, foi implementado um programa dessa natureza denominado de Programa de Combate a Pobreza Rural – RS–Rural, financiado pelo Banco Mundial – BIRD. Esse programa teve como objetivo combater a pobreza, a degradação dos recursos naturais e o êxodo da população rural do estado. Para atingir esse objetivo, o programa desenvolveu uma série de ações voltadas para a melhoria da infra-estrutura familiar e comunitária, geração de renda e conservação dos recursos naturais. Por exigência do órgão financiador do RS-RURAL, foi criado um projeto de monitoramento ambiental que procurou avaliar os impactos das ações desse programa sobre a qualidade do solo, da água, da vegetação e das condições de vida das comunidades beneficiadas pelo programa. Dessa forma, atividades de monitoramento foram implementadas em quatro bacias hidrográficas rurais localizadas em diferentes regiões do estado.

No município de Arvorezinha - RS localiza-se uma dessas bacias que vem sendo monitorada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. O diagnóstico inicial referente ao levantamento dos recursos naturais dessa bacia mostrou que o uso do solo de forma intensiva tem alterado de forma negativa a qualidade do solo (UFSM, 2001) e da água. Constataram-se, com relação à água, principalmente, problemas de baixa qualidade devido à presença de sedimentos e do lançamento de efluentes domésticos diretamente nos rios. Com relação ao solo, o principal problema encontrado foi a redução do carbono orgânico nas áreas cultivadas com fumo. Os efeitos da redução do carbono orgânico devem-se, sobretudo, a dois aspectos: a) a baixa produção de biomassa que retorna ao solo, já que o produto de interesse são as folhas do fumo; b) as elevadas taxas de erosão hídrica devido à combinação de fatores como a alta erosividade das chuvas durante o período de preparo do solo e o início do desenvolvimento da cultura de fumo.

Os aspectos relacionados com a redução do carbono orgânico, verificados no diagnóstico, motivaram a realização desse trabalho, valendo-se

da possibilidade de recuperar o carbono orgânico do solo para níveis mais elevados através da implementação de práticas conservacionistas que sejam capazes de reduzir as taxas de erosão do solo e incrementar as adições de biomassa. Neste contexto, tornou-se bastante importante a utilização de um modelo matemático, associado às ferramentas de geoprocessamento, capaz de simular a dinâmica espacial e temporal do carbono orgânico do solo submetido a diferentes condições de manejo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Ciclo Global do Carbono

O carbono, numa escala global, circula entre três grandes reservatórios: o oceano, a atmosfera e os ecossistemas terrestres (solo e biota). Um quarto reservatório, o geológico (óleo, carvão, gás natural e carbono mineral) consiste de carbono inativo ou não circulante (Jonhson, 1995). Há uma estreita relação entre os três primeiros compartimentos, sendo assim, a alteração de um compartimento provocará mudanças nos demais e vice-versa.

Dentre os compartimentos terrestres, o solo é o que possui a maior quantidade de C armazenado sob a forma de matéria orgânica (MO). A quantidade de C presente no solo chega ser três vezes superior à encontrada na biosfera e duas vezes superior à encontrada na atmosfera. O balanço entre as entradas e saídas de C no compartimento solo possui uma influência crítica nas concentrações do CO₂ da atmosfera e, possivelmente, no clima da Terra (Post et al., 1997; Jobbagy & Jackson, 2000; Kirshbaum, 2000; Post & Know, 2000).

Antes da intervenção do homem no ambiente, havia um equilíbrio do fluxo de C entre os reservatórios. Nesta condição, a retirada pela fotossíntese do C da atmosfera era contrabalanceada pela liberação de C para a atmosfera pelos processos de respiração da biota e da decomposição da matéria orgânica do solo.

A transformação dos ecossistemas naturais em áreas agrícolas, com a queima da vegetação e o preparo intensivo do solo, ocasionou um declínio mais acentuado da MO do solo, transformando-o numa fonte de CO₂ para a atmosfera.

Diversos estudos comprovam que o aumento na emissão de gases na atmosfera, originários, principalmente, da queima de combustíveis fósseis e da conversão de áreas de florestas em áreas de cultivo agrícola, é responsável pelo aquecimento do planeta, denominado de efeito estufa (IPCC, 2006). Entre as possíveis conseqüências do efeito estufa, espera-se alterações no ciclo hidrológico, com aumento na freqüência de eventos climáticos extremos como secas e inundações (Patterson & Flint, 1990) e o aumento do nível médio do mar em aproximadamente 50 cm no final do próximo século, o que provocará a inundação em áreas de países situados próximos ao nível do mar (Houghton, 1995).

O aumento da temperatura também poderá encurtar o ciclo das culturas e representar antecipações nas épocas de semeadura e colheita. Nos países tropicais, como o Brasil, poderá haver uma redução de até 10% do potencial produtivo devido a maior evaporação e conseqüente estresse hídrico (Amado & Reinert, 1999). Outra conseqüência também esperada com o aumento da temperatura é uma redução no conteúdo de MOS (Buol et al., 1990), devido à maior ação dos microrganismos presentes no solo na degradação da mesma.

Por outro lado, no que diz respeito à participação das atividades agrícolas, diversos pesquisadores apontam estratégias para a redução do efeito estufa. Por exemplo, Lal (1997) e Bruce et al. (1999) indicam o uso de culturas com alta produção de biomassa e adição de C, a eliminação dos períodos sem cobertura do solo e da queima dos resíduos culturais e o uso de sistemas conservacionistas de manejo com o mínimo revolvimento do solo.

2.2 A dinâmica do carbono orgânico no 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

(Fernandes, 2002). A MOS é considerada como principal fator de manutenção da qualidade e produtividade dos solos agrícolas, devido à sua contribuição significativa de cargas que retêm íons no solo, à complexação de elementos tóxicos às plantas, ao poder tampão de pH e ao fato de ser o principal reservatório de N, P, S e C do solo. Além disto, a MOS possui influência em propriedades físicas importantes do solo, como infiltração da água, capacidade de armazenamento de água e estabilidade dos agregados.

O solo pode ser mais bem entendido como um sistema aberto, sendo que o conteúdo de MO presente no solo é resultado do balanço entre as adições e perdas de C do sistema. A adição se dá pelas plantas, com a formação da biomassa vegetal (parte aérea e raízes), e as perdas ocorrem pelos processos de decomposição microbiana da MO do solo, lixiviação de compostos orgânicos e erosão hídrica (Vezzani, 2001). 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, microrganismos e fauna do solo.

A intervenção do homem nos ecossistemas terrestres pela prática da agricultura normalmente leva a maiores perdas de C, ou seja, um decréscimo de MOS ao longo do tempo, até atingir um novo estado estável, quantitativamente inferior ao valor original. A magnitude destas alterações depende, principalmente, do tipo de solo, das condições climáticas (temperatura e precipitação) e do sistema de manejo utilizado (método de preparo do solo e sistema de cultura utilizado) (Debarba, 2002). Estas perdas podem ser maiores em solos tropicais e subtropicais, onde as altas temperaturas e umidade durante todo o ano favorecem os processos biológicos (Greenland et al., 1992), além disto, estas regiões apresentam, normalmente, chuvas com alta erosividade, o que aumenta a susceptibilidade à perda de solo via erosão hídrica.

A MO, segundo diversas pesquisas realizadas em sistemas agrícolas, é composta por várias frações ou compartimentos, com diferenças na composição, estabilidade e tempo de permanência no solo. De acordo com a sua estabilidade, a MO pode ser dividida em fração lábil (não protegida) e fração estável ou protegida (Theng et al., 1989; Duxbury et al., 1989). A fração lábil é composta por resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos

(MO particulada ou fração leve) e pela biomassa microbiana. Essa fração representa cerca de 1/3 da MO total do solo, tem um tempo de permanência relativamente curto no solo e tem como principais funções o fornecimento de carbono e energia aos microrganismos e de nutrientes às plantas, além de atuar sobre a agregação temporária e CTC (Theng et al., 1989). A fração estável da MO é composta de substâncias húmicas e outras macromoléculas, possui maior tempo de permanência no solo e tem como principal função atuar sobre processos físicos e químicos do solo, como agregação permanente e CTC (Theng et al., 1989; Duxbury et al., 1989).

A interação da MO com a fração mineral (estabilidade física), segundo Duxbury et al. (1989), pode ser dividida em proteção física estrutural, decorrente da formação dos agregados no solo, estando a MO localizada no interior dos agregados, protegida da ação dos microrganismos, e proteção física coloidal, que é resultante das interações entre os grupos funcionais da MO com a superfície dos argilominerais e óxidos (complexo organomineral).

Segundo Tisdall e Oades (1982) os principais ligantes orgânicos responsáveis pela estabilização dos macroagregados são os polissacarídeos, raízes e hifas de fungos. Devido à curta permanência destes compostos no solo, a macroagregação é dependente da adição contínua de material orgânico ao solo. Já, na estabilização dos microagregados, os agentes ligantes são persistentes e envolvem interações entre as substâncias húmicas e a fração mineral do solo, conferindo alta estabilidade aos complexos formados (Tisdall e Oades, 1982; Duxbury et al., 1989). Neste caso, o preparo do solo deve apresentar um menor efeito sobre esta fração (Duxbury et al., 1989).

A estabilidade coloidal, de acordo com Duxbury et al. (1989), é resultante das interações entre os grupos funcionais da MO com a superfície dos argilominerais e óxidos (complexos organominerais). Assim, os mecanismos de interação dependem dos grupos funcionais envolvidos, do tipo de carga predominante no mineral, da presença de cátions metálicos e das condições do meio. De acordo com Sposito (1989), os principais grupos funcionais da MO que participam das interações com a fração mineral do solo são os grupos carboxílicos e OH fenólicos. Em função do baixo PCZ (em torno de 3,0) estes grupos normalmente apresentam carga líquida negativa no solo. Em solos onde predominam argilominerais 2:1, com carga permanente

negativa, a interação pode ocorrer através de ponte de cátions, especialmente cátions polivalentes, como Ca^{++} , Al^{+++} e Fe^{++} . Neste caso, o cátion forma uma ponte entre a carga negativa da superfície do mineral e a carga negativa da MO. Segundo Duxbury et al. (1989), a estabilidade da MO através da proteção coloidal é muito alta, sendo afetada em menor grau pelo manejo do solo.

A soma da MO contida nos diferentes compartimentos, portanto, resultará na quantidade de MO armazenada no solo. E como estes compartimentos são dinâmicos e mutuamente dependentes, alterações, como a adoção de sistemas de manejo com baixa adição de biomassa, em um compartimento, provocarão mudança nos demais.

Bayer (1996), em um experimento iniciado em 1985 num Argissolo Vermelho do Rio Grande do Sul, observou que, após 9 anos, o sistema aveia+vica/milho+caupi (maior adição de C) e plantio direto (menor taxa de perda de CO) promoveu acúmulo de 11 Mg ha^{-1} de CO na camada de 0 – 17,5 cm em relação ao sistema aveia/milho e preparo convencional. Em outro trabalho realizado na mesma área, Pillon (1999) observou que os sistemas lablab/milho e aveia+vica/milho+caupi sob plantio direto, após 16 anos, apresentaram um incremento nos estoques de CO de $10,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $6,74 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, em relação ao sistema pousio/milho. Assim, de acordo com trabalhos realizados em solos agrícolas, verifica-se que o acúmulo de MO no solo é lento, necessitando de médio a longo prazo para que diferenças expressivas sejam observadas. Sendo assim, o uso de modelos de simulação permite obter resultados em escalas de tempo e em diversidade de cenários que não seriam possíveis em pesquisas feitas unicamente a campo, além de auxiliar na interpretação e previsão das alterações nas reservas de MO para longos períodos de tempo.

2.3 Efeitos da diminuição do carbono orgânico à qualidade do solo

A diminuição dos teores de carbono orgânico do solo tem várias implicações sobre a qualidade do solo, porém um dos efeitos mais importantes refere-se à redução da estabilidade dos agregados. Com a redução da estabilidade dos agregados o solo fica mais suscetível ao processo de desagregação causado tanto pelo impacto da gota da chuva (erosão

entressulcos) como pelo escoamento concentrado (erosão em sulcos). A redução da estabilidade dos agregados também provoca alterações nas condições hidrológicas do solo (aumento do escoamento superficial) através da redução dos poros responsáveis pela transmissão de água no solo, tendo como consequência redução da capacidade de infiltração de água no solo.

Um aspecto ambiental importante associado às perdas de MOS pela atividade microbiana é sua participação no incremento da concentração de CO₂ na atmosfera (aumento do efeito estufa) (Lal, 2004; IPCC, 2001).

O solo apresenta um grande potencial de seqüestro de carbono da atmosfera através da adição contínua de matéria orgânica (Lal, 1997; Lal et al., 1997). Sistemas de manejo do solo que adicionam mais matéria orgânica propiciando maior retenção de carbono são ambientalmente benéficos e desejáveis (Vezzani, 2001; Ceretta et al., 1999; Tisdall, 1996) porque o conteúdo de carbono orgânico é o fator que melhor correlaciona-se com a qualidade do solo e, conseqüentemente, com a qualidade ambiental, especialmente a qualidade das águas e redução do efeito estufa (Amado et al., 2001; Bayer et al., 2000; Lal et al., 1997).

A dinâmica da MOS em sistemas agrícolas tem sido estudada com o modelo de decaimento exponencial, com maiores perdas nos primeiros anos de cultivo e tendência de estabilização em teores quantitativamente menores. Isto pode ser explicado pela presença de frações ou compartimentos da MOS, caracterizados por sua resistência à decomposição e tempo de permanência no solo.

A quantidade total de carbono presente no solo bem como suas frações ou compartimentos são importantes indicadores dos processos de recuperação e/ou degradação que o solo está sofrendo (Lovato et al., 2004; Lovato, 2001; Mielniczuk, 1999), pois um solo pouco degradado tende a possuir uma quantidade mais elevada de carbono orgânico total (COT) do que um solo mais degradado. Avaliar a campo a perda ou ganho de carbono em função de sistemas de manejo exige tempo e gastos financeiros nem sempre disponíveis. O uso de modelos para este fim permite obter resultados em escalas de tempo e em diversidade de cenários que não seriam possíveis em pesquisas feitas unicamente a campo.

2.4 Modelos computacionais no estudo da dinâmica do carbono orgânico

Os modelos matemáticos buscam representar a realidade de campo de uma forma simplificada. A utilidade destes modelos baseia-se principalmente na possibilidade de se extrapolar resultados experimentais para períodos de tempo mais longos, podendo constituir-se em instrumentos valiosos, seja na pesquisa ou no apoio a tomadas de decisão, inclusive redução de custos (Mielniczuk et al., 2003).

Muitos modelos têm sido utilizados para simular a dinâmica da MOS em diversos agroecossistemas: RothC-26.3 (Coleman & Jenkison, 1996), *Century* (Parton et al., 1987), DNDC (Li, 1996), SOMM (Chertov & Komarov, 1996) e SUNDIAL (Bradybury et al., 1993). A maioria destes modelos tem sido aplicados em escala local, sendo poucos aplicados em escala regional, nacional ou continental (Grant, 2001).

Os modelos mais simples usados para descrever a dinâmica da MOS são unicompartimentais, como os propostos por Henin & Dupuis (1945) e aplicado por Woodruff (1949) para o nitrogênio, sendo baseados em equações diferenciais de primeira ordem. O principal problema no uso destes modelos consiste em considerar a matéria orgânica como um componente uniforme do solo com uma taxa média de decomposição (Mielniczuk et al., 2003), o que não corresponde à realidade. Estes modelos com um único compartimento foram criados para representar o declínio do C e do N em solos cultivados, como é o caso do modelo proposto por Henin & Dupuis (1945) e aplicado por Woodruff (1949) para o estudo do N e que posteriormente foi adaptado e usado no estudo do C por Dalal & Mayer (1986), Bayer (1996) e Lovato (2001).

Os modelos multicompartimentais consideram que os compostos orgânicos ciclam em tempos variáveis no solo, devido a diferentes mecanismos de sua estabilização no solo (Van Veen & Paul, 1981; Janssen, 1984; Parton et al., 1987). Com isso, dividem os processos de ciclagem de C em vários compartimentos, cada um com taxas constantes de decomposição que são multiplicadas por uma ou mais taxas modificadoras para refletir fatores bióticos e abióticos. A maioria destes modelos multicompartimentais divide a MOS em compartimentos de ciclagem rápida, intermediária e lenta, todos com diferentes

taxas de decomposição e tempos de permanência no solo. O material aportado ao solo também é dividido em compartimentos com diferentes taxas constantes, para referenciar tanto a decomposição inicial, rápida, quanto a subsequente decomposição lenta (Parton et al., 1987; Smith et al., 1997).

Os modelos multicompartimentais são complexos e possuem um grande número de parâmetros que vão desde os parâmetros para as taxas constantes aos parâmetros para definição da proporção de C provenientes dos resíduos vegetais e do solo que será alocada em cada um dos compartimentos. Esses parâmetros são necessários para descrever a transferência e a transformação de C orgânico entre os compartimentos durante a decomposição. Existe também a necessidade de se modificar ou ajustar as taxas constantes e coeficientes para os diferentes tipos de solo e condições ambientais, o que requer conhecimentos muito específicos por parte dos usuários para que a aplicação do modelo seja bem sucedida.

Vários modelos multicompartimentais têm sido testados e validados em ambientes tropicais, sendo que o modelo *Century* é um dos mais utilizados em nível mundial. A primeira versão do modelo *Century* (Parton et al., 1987), foi desenvolvida para simular a dinâmica dos nutrientes no solo sob pastagens nativas da Planície Central dos EUA. Posteriormente, foram feitas modificações na versão original, possibilitando a simulação da MO para outros ecossistemas. A versão atual do modelo, *Century V 4.0* (Metherell et al., 1994) é composta de vários submodelos, permitindo a simulação da produção de plantas, ciclagem de nutrientes (N, P e S) e a dinâmica da MO para sistemas de campo nativo, floresta, savana e culturas agrícolas.

Smith et al. (2001) compararam diversos modelos em ambiente tropical, tais como, o *Century*, DNDC: *Denitrification-Decomposition* (Li, 1996), RothC: *Soil Carbon Model* (Coleman & Jenkinson, 1996), SOMM: *Model of Soil Organic Matter Dynamics* (Chertov & Komarov, 1996) e SUNDIAL: *Simulation of Nitrogen Dynamics in Arreble Land* (Bradybury et al., 1993) e verificaram que os modelos *Century* e RothC apresentaram os melhores resultados.

2.4.1 Modelo *Century*

Os modelos de simulação de nutrientes são úteis para a compreensão do impacto de alterações ambientais sobre a MOS. O modelo *Century* (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994) em particular tem sido freqüentemente aplicado pela sua consistência e eficiência no estudo da dinâmica do C em diversos ecossistemas e sistemas de uso e manejo dos solos (Donigian et al., 1994; Smith et al., 1997; Silveira et al., 2000; Fernandes, 2002; Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Oliveira, 2005). O *Century* é capaz de estimar o potencial de adição de carbono das plantas superiores através de submodelos de crescimento das plantas e aspectos teóricos relacionados à fotossíntese (Fernandes, 2002) e apresenta como principal vantagem a possibilidade de simular diferentes formas de manejo no tempo, permitindo assim a simulação de estoques atuais e futuros de carbono no solo.

2.4.1.1 Aplicação do modelo *Century* no Brasil

O modelo *Century* foi inicialmente desenvolvido para condições de solo, clima e vegetação característicos de clima temperado, e para solos sob pastagens naturais, sendo, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas, passando a incluir o efeito do preparo de solo sobre algumas taxas de decomposição.

No Brasil, estudos com o modelo *Century* são recentes (Silveira et al., 2000; Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Fernandes, 2002; Leite et al., 2004; Oliveira, 2005).

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 CO de um Latossolo sob vegetação de floresta subtropical.

Leite et al. (2004) simularam a dinâmica do COT e dos compartimentos de C em um Alissolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa-MG, após mudança de uma área sob floresta Atlântica (até 1930) para agricultura (1930-1984) e adoção posterior, na mesma área agrícola, de tratamentos com

adubação mineral e orgânica (1984-2002). No período de 1930 até 1984, verificou-se redução nos estoques de COT devido, principalmente, à adoção de sistema de preparo do solo convencional, com uso excessivo de arados e grades. A menor magnitude de diminuição do C foi verificado no compartimento passivo devido à proteção promovida pela argila e silte, pressuposta no modelo. Com a adoção dos tratamentos com adubação orgânica a partir de 1984, observou-se um aumento nos estoques de C, especialmente no compartimento lento, devido a maior influência das mudanças no manejo neste compartimento. Os estoques de COT medidos e simulados pelo modelo foram bem correlacionados ($R^2 = 0,93$, $p < 0.01$) o que evidencia a potencialidade do modelo para simular a dinâmica do COT em solos tropicais sob sistemas de manejo.

Leite et al. (2005b) simularam a dinâmica da MOS em áreas do Cerrado do Maranhão, em solo Latossolo Vermelho-Amarelo e verificaram que o modelo estimou a redução dos estoques de COT e dos compartimentos de C após a mudança da floresta nativa de Cerrados (FNC) para agricultura. As maiores perdas de COT em relação à FNC foram observadas nos compartimentos de C ativo e lento. Esta maior sensibilidade às mudanças nos sistemas de manejo e, simultaneamente, à maior estabilidade do compartimento passivo, foi atribuída à rápida ciclagem daqueles compartimentos de maior labilidade e à resistência física e química à decomposição da MOS, associados aos compartimentos mais recalcitrantes.

Para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, o modelo já foi testado e apresentou boa performance de simulação na dinâmica do carbono orgânico (Debarba, 2002; Fernandes, 2002; Vezzani, 2001).

Fernandes (2002), num primeiro estudo utilizando o modelo *Century* analisou quais atributos do solo estariam relacionados com a proteção à decomposição. Através deste estudo verificou que o compartimento passivo (COP) relaciona-se principalmente com os teores da fração argila e óxidos de ferro. Num segundo estudo, Fernandes (2002) verificou 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, concluindo que o modelo apresenta maior sensibilidade às variações na taxa de decomposição máxima do compartimento lento (COL) do que na

eficiência de conversão do compartimento ativo (COA) em lento (COL). O resultado obtido 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.

Debarba (2002) estimou através do modelo *Century* as perdas históricas de CO e emissão de CO₂ em solos do Planalto do RS com diferenças na textura do solo, quando da utilização da agricultura convencional nas áreas com vegetação original de floresta e campo nativo. Neste trabalho, o autor constatou que para os solos das regiões cuja vegetação original era campo, o modelo estimou reduções no estoque original de CO, no período de 1951 a 1980, de 31 a 45%, sendo que as menores reduções ocorreram nos solos com maior teor de argila. Para os solos das regiões com vegetação original de floresta, a redução no período de 1901 a 1980 variou de 32,7 a 44%. Cenários de manejo incluindo sistemas de cultura com alta adição de biomassa associado a métodos de preparo com menor grau de revolvimento do solo, a partir de 1981, estimaram uma recuperação parcial do CO perdido em todos os solos estudados. Com isto, Debarba (2002), concluiu que o modelo *Century* mostrou-se uma ferramenta adequada para estudos de inventários do estoque de CO em solos, além de permitir o maior detalhamento da dinâmica da MO em sistemas agrícolas.

2.4.1.2 Estrutura de funcionamento do modelo *Century*

O ambiente *Century* consiste do modelo *Century*, o qual utiliza um programa de saída de dados (LIST 100) e dois utilitários: FILE 100 e EVENT 100 (Figura 1).

O programa FILE 100 contém 12 arquivos de dados, sendo que cada arquivo é composto por um conjunto de variáveis padrões.

O programa EVENT 100 cria um arquivo de eventos, no qual são definidos as culturas e os eventos de manejo que serão utilizados na simulação (mês de semeadura e de colheita, método de preparo do solo, adubação, etc.).

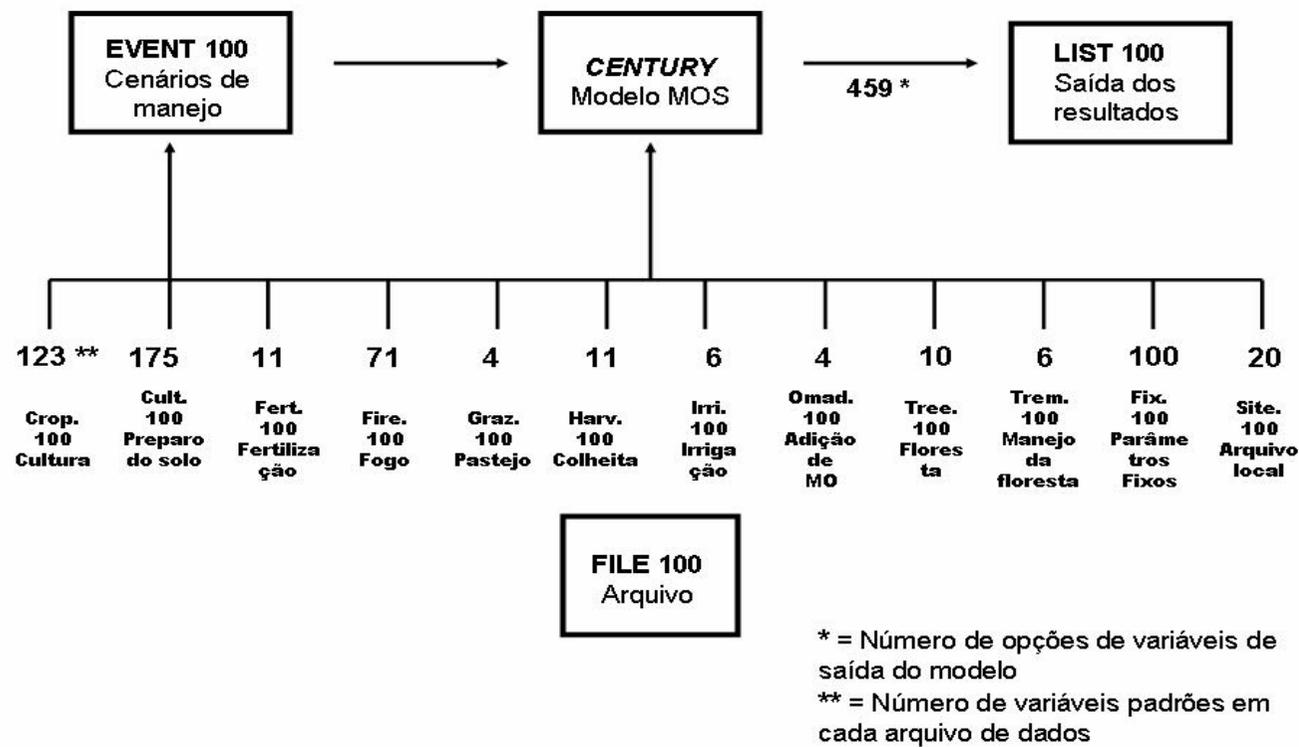


Figura 1. Ambiente do modelo *Century*, mostrando as relações entre os programas e a estrutura de arquivos (adaptado de Metherell et al., 1994).

Para o uso do modelo *Century*, as etapas básicas para simulação de um determinado cenário de manejo são as seguintes:

1) No arquivo local (SITE.100), devem ser fornecidos, entre outros, os valores referentes à temperatura e precipitação pluviométrica média mensal do município, a composição granulométrica do solo e o conteúdo inicial de CO dos compartimentos de planta e do solo. Quando não são conhecidos os valores iniciais de CO dos compartimentos, é possível estimá-los indiretamente, através da chamada “execução de equilíbrio”, para um sistema natural por um longo período de tempo (em torno de 6000 anos).

2) Elaboração dos eventos de manejo através do EVENT 100 (período total de simulação, culturas utilizadas, métodos de preparo, níveis de adubação, etc.)

3) Simulação

O modelo simula a dinâmica da MO para a profundidade fixa de 0 a 20 cm.

2.4.1.3 Submodelo do carbono orgânico - compartimentos e fluxos

O submodelo da MO é dividido em oito compartimentos, segundo o período médio de tempo até que o CO do compartimento seja decomposto (Figura 2). O modelo possui quatro compartimentos de planta (estrutural e metabólico, da superfície e do solo), um compartimento microbiano superficial associado à liteira em decomposição na superfície e três compartimentos de solo (ativo, lento e passivo) (Tabela 1).

Os compostos orgânicos dos resíduos da planta adicionados ao solo (parte aérea e raízes) são divididos nos compartimentos estrutural e metabólico segundo a relação lignina / nitrogênio (L/N).

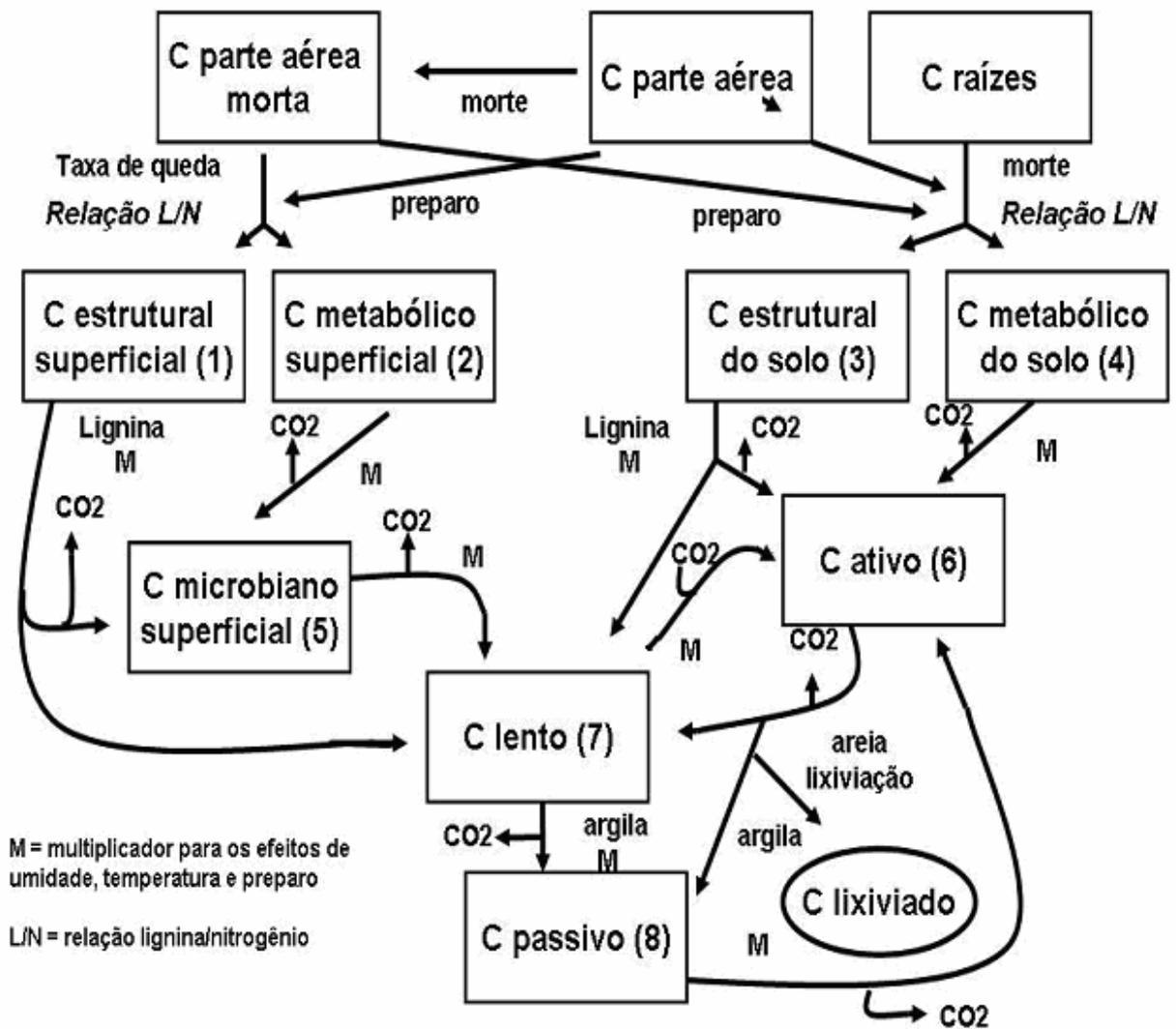


Figura 2 . Submodelo da MO (adaptado de Metherell et al., 1994).

Tabela 1. Distribuição dos compartimentos de C do solo sob vegetação no modelo *Century*

| Compartimento | Composição | Proporção do total (%) | Tempo de permanência (ano) |
|-------------------|--|------------------------|----------------------------|
| De planta: | | | |
| Metabólico | Resíduos vegetais de fácil decomposição | - | 0,1 - 1 |
| Estrutural | Resíduos vegetais de decomposição mais difícil: celulose, hemicelulose e lignina | - | 1 – 5 |
| De solo: | | | |
| Ativo | Biomassa microbiana e produtos de exsudação | 4 – 5 | Até 3 |
| Lento | Material vegetal resistente e produtos estabilizados no solo | 30 - 70 | 20 – 40 |
| Passivo | Material muito resistente à decomposição, estabilizado física e quimicamente | 30 - 50 | 200 – 500 |

O modelo assume que a decomposição dos compostos orgânicos de cada compartimento é de natureza microbiana, com uma perda associada de CO₂ devido à respiração dos microrganismos. O tempo de permanência do CO nos compartimentos é função da taxa de decomposição máxima de cada compartimento (K_i) e de um fator que considera o efeito do ambiente do solo (umidade e temperatura) sobre a atividade microbiana. Este efeito é estimado através da *Equação 1*:

$$\frac{dCO_i}{dt} = K_i \cdot Md \cdot Td \cdot CO_i \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

dCO_i/dt = variação da quantidade de CO em cada compartimento;

K_i = taxa de decomposição máxima (semanal) da cada compartimento;

Md = razão entre a precipitação total mensal e da taxa de evapotranspiração potencial;

Td = temperatura média mensal do solo;

CO_i = quantidade inicial de CO em cada compartimento.

As taxas de decomposição máxima (K) são fixas para os compartimentos: microbiano superficial, metabólico superficial, metabólico do solo, lento e passivo, porém podem ser modificadas por um coeficiente de cultivo se houver revolvimento do solo, e variáveis para os compartimentos: estrutural superficial, estrutural do solo e ativo.

O preparo do solo é um dos fatores que afeta a taxa de decomposição dos compartimentos. Quando é realizado o preparo, ocorre o aumento na decomposição dos resíduos vegetais e a sua transferência para os compartimentos do solo, bem como um aumento na taxa de decomposição destes compartimentos (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994).

A composição granulométrica do solo também afeta a taxa de decomposição e o fluxo de CO entre os compartimentos. A taxa de decomposição do compartimento ativo e sua eficiência de estabilização (ES) no compartimento lento são afetadas pela textura, conforme visto nas *Equações 2 e 3*.

$$COA = K \cdot (1 - 0,75 \cdot S + A) \quad \text{Equação 2}$$

$$ES = 0,17 - 0,68 \cdot A \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

COA = compartimento ativo;

K = taxa de decomposição máxima do COA;

$S+A$ = fração silte + argila;

ES = fração do CO perdido como CO₂ quando o carbono no compartimento ativo é decomposto e transferido para o compartimento lento;

A = fração areia.

Segundo as *Equações 2 e 3* do modelo, quanto mais arenoso for o solo, maior será a taxa de decomposição do compartimento ativo e as perdas de CO como CO₂ e, assim, conseqüentemente, menor quantidade de CO será transferida do compartimento ativo para o lento.

A transferência do CO do compartimento ativo (COA) para o lento (COL) é a fração que se decompõe no compartimento, descontadas a perda

como CO₂ e o fluxo de CO para o compartimento passivo. O fluxo do compartimento ativo para o passivo é regulado pela *Equação 4*.

$$COA \rightarrow COP = 0,003 + 0,032.A \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

A = percentagem de argila do solo.

O fluxo do CO do compartimento lento (COL) para o passivo (COP) é regulado de acordo com a percentagem de argila do solo, conforme *Equação 5*.

$$COL \rightarrow COP = 0,003 + 0,009.A \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

A = percentagem de argila do solo.

A transferência do CO do compartimento lento (COL) para o ativo (COA) é a fração do CO que se decompõe no compartimento lento, descontadas a perda como CO₂ e o fluxo de CO para o compartimento passivo (COL – COP).

No modelo *Century*, o fluxo para o compartimento passivo é controlado unicamente pelo conteúdo de argila. No entanto, os diversos tipos de minerais na fração argila tendem a apresentar diferentes potenciais de estabilização da MOS neste compartimento. Em solos tropicais, os teores de óxidos de Fe e Al influenciam os teores e a estabilidade da MO de duas formas: pela formação de compostos organo-minerais de alta estabilidade em decorrência da interação eletrostática das cargas positivas dos óxidos e cargas negativas da MOS, dificultando o acesso microbiano ao substrato orgânico (Oades et al., 1989), e por meio de mudanças na estrutura do solo. Os óxidos são responsáveis pela desorganização das partículas de argila em escala microscópica, dificultando a orientação dos cristais de caulinita (Resende et al., 1997), o que favorece o surgimento de uma estrutura granular, que garante a maior resistência à interferência antrópica e às alterações no manejo do solo. A ausência destes aspectos no modelo *Century* pode acarretar, em solos oxidícos, a subestimação do compartimento passivo (Leite et al., 2004).

O modelo *Century* tem diversas variáveis de entrada. No entanto, para identificar aquelas de maior influência nas variáveis de saída é utilizada a

análise de sensibilidade, que consiste na avaliação destas variáveis de entrada com o propósito de verificar quais possuem maior sensibilidade sobre os resultados das variáveis de saída.

Leite (2002), testando a temperatura do ar, o estoque inicial de COT, o teor de argila, o aporte de C pelas culturas e a precipitação, verificou que as variáveis temperatura do ar e estoque inicial de COT foram as mais sensíveis, devido às maiores alterações observadas nos estoques de COT. Um acréscimo de 20% na temperatura do ar resultou em um decréscimo nos estoques de COT de 2,3 (6%), 3,2 (9,8%), 3,2 (10%) e 2,96 Mg ha⁻¹ (8,6%), respectivamente sob sistemas de plantio direto (PD), arado de disco (AD), grade pesada + arado de disco (GPAD) e grade pesada (GP). Já, um decréscimo de 20% na temperatura do ar propiciou um aumento nos estoques de COT da mesma ordem de magnitude da mudança positiva, demonstrando que, conforme o modelo, a temperatura tem um efeito linear nas mudanças dos estoques de COT. Sabe-se que o crescimento vegetal e a adição de biomassa ao solo podem aumentar com o aumento da temperatura, porém, a taxa de decomposição da MO também aumenta, o que propicia a redução nos estoques de C, indicando que, mesmo que se aumente o aporte de C do solo, o teor de MO responderá somente em longo prazo. Estes resultados demonstram a importância dos fatores ambientais no controle da dinâmica da MO. No mesmo trabalho, Leite (2002) verificou que em todos os sistemas de preparo analisados o estoque inicial de COT no solo sob floresta nativa propiciou as maiores alterações nos estoques de COT. Um acréscimo de 20% do estoque inicial de COT aumentou os estoques de COT em 18% tanto para o sistema de plantio direto (PD) como para os convencionais. Este percentual representou um acréscimo nos estoques de COT de aproximadamente 7 e 6 Mg ha⁻¹ para os sistemas PD e convencionais, respectivamente. Sendo assim, de forma similar à temperatura, o estoque inicial de COT apresentou uma influência linear na dinâmica do C. Esta maior sensibilidade também foi observada nos estudos de Smith et al. (1997).

Embora o teor de argila do solo possuir papel importante nos fluxos dos compartimentos e, conseqüentemente, nos estoques de COT, o modelo não foi sensível às variações produzidas, sendo que esse efeito pode

ser decorrente da forte influência dos sistemas de manejo adotados no resultado final da simulação, inibindo os efeitos dessa variável (Leite, 2002).

Com isso, trabalhos realizados utilizando o modelo *Century* mostraram respostas diferenciadas (Parfitt et al., 1997; Silveira et al., 2000; Vezzani, 2001; Fernandes, 2002; Debarba, 2002; Leite, 2002; Leite et al., 2004; Leite et al., 2005b; Oliveira, 2005). Porém, de maneira geral, os resultados de pesquisa com a utilização do modelo *Century* em solos de regiões tropicais e subtropicais têm demonstrado que o mesmo apresenta-se como uma ferramenta promissora no estudo da dinâmica da MO.

2.5 Acoplamento de modelos de dinâmica de nutrientes e Sistema de Informações Geográficas (SIG)

A completa integração de modelos dinâmicos com um *Sistema de Informações Geográficas* (SIG) é complicada. O principal problema é que o SIG não é um sistema que consegue modelar o sistema dinâmico e os dados espaciais de entrada sem um programa externo auxiliar (Norgaard, 2004). Além disto, a linguagem da modelagem que constrói sistemas dinâmicos não consegue modelar espacialmente, nem o SIG é apto para espacializar um sistema dinâmico.

Argent (2004) conclui que os modelos são raramente projetados para interagir com outros modelos e que estes estão escritos em línguas arbitrárias (dependendo das habilidades de programação na instituição). Assim, pesquisadores que desejam fazer a modelagem com cruzamentos de informações estão enfrentando barreiras técnicas e têm que virtualmente começar desde o início cada vez que um novo modelo deve ser aplicado.

O SIG provou-se vantajoso no estudo de sistemas naturais que fornecem a gerência de dados, a análise e a visualização de dados espacialmente explícitos. Ao se desejar integrar modelos com ou dentro do SIG, os problemas de linguagem e da estrutura tornam-se dominantes porque a maioria dos *softwares* é criada com linguagens e estruturas de programação específicas. Cria-se, então, a necessidade de uma estrutura de modelagem que inclui um ambiente dinâmico, baseado em opções de gerência (gráfica e espacialmente) e de visualização dos dados (Norgaard, 2004).

Um sistema inteiramente integrado exigiria o desenvolvimento de uma linguagem que suporte ambos os dados espacialmente distribuídos, operações espaciais e simulações de modelos dinâmicos de uma maneira amigável e flexível. Uma solução seria o desenvolvimento de um programa e uma linguagem comum entre os SIG's e os modelos dinâmicos para que estes possam ser integrados (Norgaard, 2004).

Para superar estes problemas de integração de modelos dinâmicos e SIG's, diversas tentativas já foram feitas. Porém, na maioria dos casos estas tentativas implicaram no desenvolvimento de novos programas que superaram apenas partes da integração.

2.6 A modelagem dinâmica espacialmente explícita

A forma habitual da maioria dos modelos de dinâmica de nutrientes que se tem conhecimento, como *Century* e *RothC*, entre outros, tem sido a de parâmetros associados com simulações pontuais, representativos de uma situação ambiental média. Estudos pesquisando aplicações espacialmente explícitas para simular mudanças nos estoques de C associadas a diferentes posições na paisagem, usos e sistemas de manejo de solos são ainda raros (Donigan et al., 1994; Shaffer et al., 2001; Parshotam et al., 1996; Falloon & Smith, 2002).

Os modelos pontuais apresentam algumas limitações intrínsecas, tais como: os processos descritos em um ponto não são necessariamente os mesmos em outras escalas; a incorporação e avaliação da variabilidade espacial não é de fácil implementação e certos aspectos relevantes da modelagem em estudo não podem ser delineados numa análise pontual.

A modelagem dinâmica espacialmente explícita é uma alternativa para aplicação da visão geral de estoque e dinâmica de nutrientes e para a simulação de processos, incorporando sua variabilidade espacial.

Esta modelagem está num contínuo entre aproximações extremamente simples, nas quais relações empíricas são assumidas para serem aplicadas em grandes áreas, e aproximações complexas nas quais a dinâmica dos modelos de simulação é relacionada a dados georreferenciados, normalmente utilizando-se do Sistema de Informações Geográficas (SIG), para responder por diferenças espaciais no clima, solo e uso da terra. Em regiões

de clima temperado, estas aplicações em escala regional com modelos de simulação associados ao SIG, têm sido muito utilizadas para o prognóstico dos efeitos das práticas de manejo. Nos EUA, o modelo *Century* associado a uma base de dados meteorológicos e de solo fornecidos pelo SIG foi utilizado para estimar o potencial de seqüestro de C para 44% da área terrestre do país, tendo permitido constatar-se que práticas de preparo conservacionistas e o uso de culturas de cobertura poderiam ser usados para aumentar o estoque de C do solo por cerca de 40 anos (Donigan et al., 1994; Shaffer et al., 2001).

Estimou-se, na Hungria, o potencial de seqüestro de C do solo sob diferentes práticas de manejo através de equações de regressão e pelos modelos *Century* e RothC associados ao SIG, tendo-se verificado que houve diferenças entre os métodos, ainda que as estimativas tivessem sido da mesma ordem de magnitude e que alguns cenários de manejo apresentassem potencial para mitigação de C, como por exemplo, as áreas de reflorestamento (Fallon & Smith, 2002).

Na Nova Zelândia, a fim de avaliar os impactos das mudanças no clima e no uso da terra sobre os estoques de COS e emissões de CO₂ em ecossistemas naturais, através do modelo RothC acoplado ao SIG, verificou-se que o efeito combinado da degradação do ecossistema e da mudança climática pode conduzir à significativa liberação líquida de CO₂ por mais de 40 anos de cultivo do solo (Parshotam et al., 1996).

Segundo Norgaard (2004), a integração espaço-temporal de modelos dinâmicos de C com SIG, conceitualmente, podem se situar entre duas diferentes formas: acoplamento livre e acoplamento ajustado.

No acoplamento livre, o modelo utiliza informações de uma base de dados geoespacial externa, separada estruturalmente. Os dados são carregados manualmente ou por um aplicativo específico. As simulações são realizadas em seqüência e independentemente. Por ser uma forma mais simples, é a mais comumente utilizada, porém, tem como desvantagem principal a dificuldade em se aumentar a base de dados e o grande número de simulações, sendo que o fator limitante para a aplicação passa a ser o usuário.

No acoplamento ajustado, o modelo e a base de dados geoespacial são integrados estruturalmente num ambiente SIG e tanto a manipulação dos

dados analíticos quanto as simulações são feitas na mesma interface. Tem como principal vantagem a possibilidade de se ter maior controle sobre a base de dados e simulações, sendo que a manipulação e as simulações recaem sobre o *software* e não mais sobre o usuário. Porém, possui a desvantagem de ser bastante complexa a sua programação e posterior verificação.

Com aumento significativo da eficiência dos computadores, verifica-se que há um maior estímulo dos pesquisadores em desenvolver modelos mais complexos, com o desafio de torná-los mais úteis à sociedade.

3. HIPÓTESE

Com base no exposto anteriormente estabeleceu-se a seguinte hipótese:

- Considerando que o modelo Century apresente uma boa performance de simulação na dinâmica do carbono orgânico para as condições a serem estudadas, seria possível utilizar esse modelo como ferramenta auxiliar na escolha de sistemas de manejo capazes de recuperar o teor de carbono orgânico dos solos.

4. OBJETIVOS

4.1 Geral:

Utilizar o modelo *Century* para simular as alterações do carbono orgânico em uma pequena bacia hidrográfica rural.

4.2 Específicos:

Utilizar a modelagem espacialmente explícita, através do acoplamento livre, para avaliar a dinâmica espaço temporal do carbono orgânico do solo na escala de bacia hidrográfica;

Simular cenários de cultivo do fumo envolvendo diferentes sucessões de culturas combinados com sistemas de preparo do solo conservacionistas para estudar a dinâmica do carbono orgânico do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição da área de estudo

Esse estudo foi desenvolvido em uma bacia de cabeceira do arroio Lajeado Ferreira, que é um afluente do Rio Guaporé que por sua vez pertence à bacia dos rios Taquari – Antas. Essa bacia, que é uma pequena bacia hidrográfica rural (PBHR), possui uma área de 1,19 km² e está localizada no município de Arvorezinha (Encosta Superior do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul) a uma distância de 240 km de Porto Alegre (Figura 3).

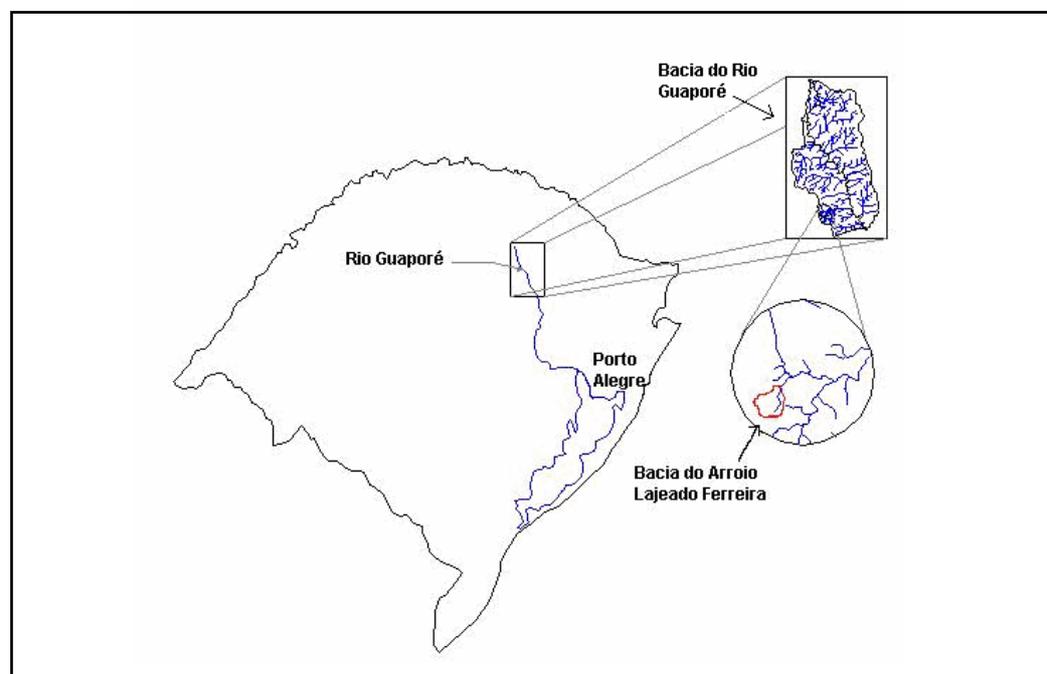


Figura 3. Localização da PBHR do arroio Lajeado Ferreira, município de Arvorezinha, Rio Grande do Sul.

Como pode ser visualizado na Figura 4, a área da PBHR apresenta uma topografia plana no seu terço inicial (nascentes) e mais acidentada nos demais trechos. A Figura 4 é uma perspectiva tridimensional gerada a partir de uma sobreposição de uma imagem do satélite *Quick Bird* a um Modelo Digital do Terreno (MDT) gerado pela SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), onde foi utilizado um fator de exagero vertical de 3,5 vezes para uma melhor visualização das variações do terreno.

O embasamento geológico dominante na pequena bacia hidrográfica rural (PBHR) é constituído por rochas extrusivas da Formação Serra Geral, principalmente na forma de rochas basálticas. O relevo da região está relacionado à litologia e à tectônica regional, distinguindo-se três fases principais: a) plano a suavemente ondulado; b) ondulado; e c) fortemente ondulado a montanhoso (FEPAGRO, 2005)

Segundo levantamento realizado pela equipe da EMATER de Porto Alegre (FEPAGRO, 2005), as classes de solos identificadas na região da PBHR, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), são distinguidas em uma associação de solos, identificada como Alissolo Crômico argilúvico abrupto, Cambissolo Háptico Ta distrófico típico e Neossolo Regolítico distrófico típico. Considerando que as rochas basálticas são o material de origem comum a todos os solos, o principal fator diferenciador entre os tipos de solo é o relevo, condicionado os fluxos de água e a drenagem, os processos erosivos e a acumulação de materiais (FEPAGRO, 2005).

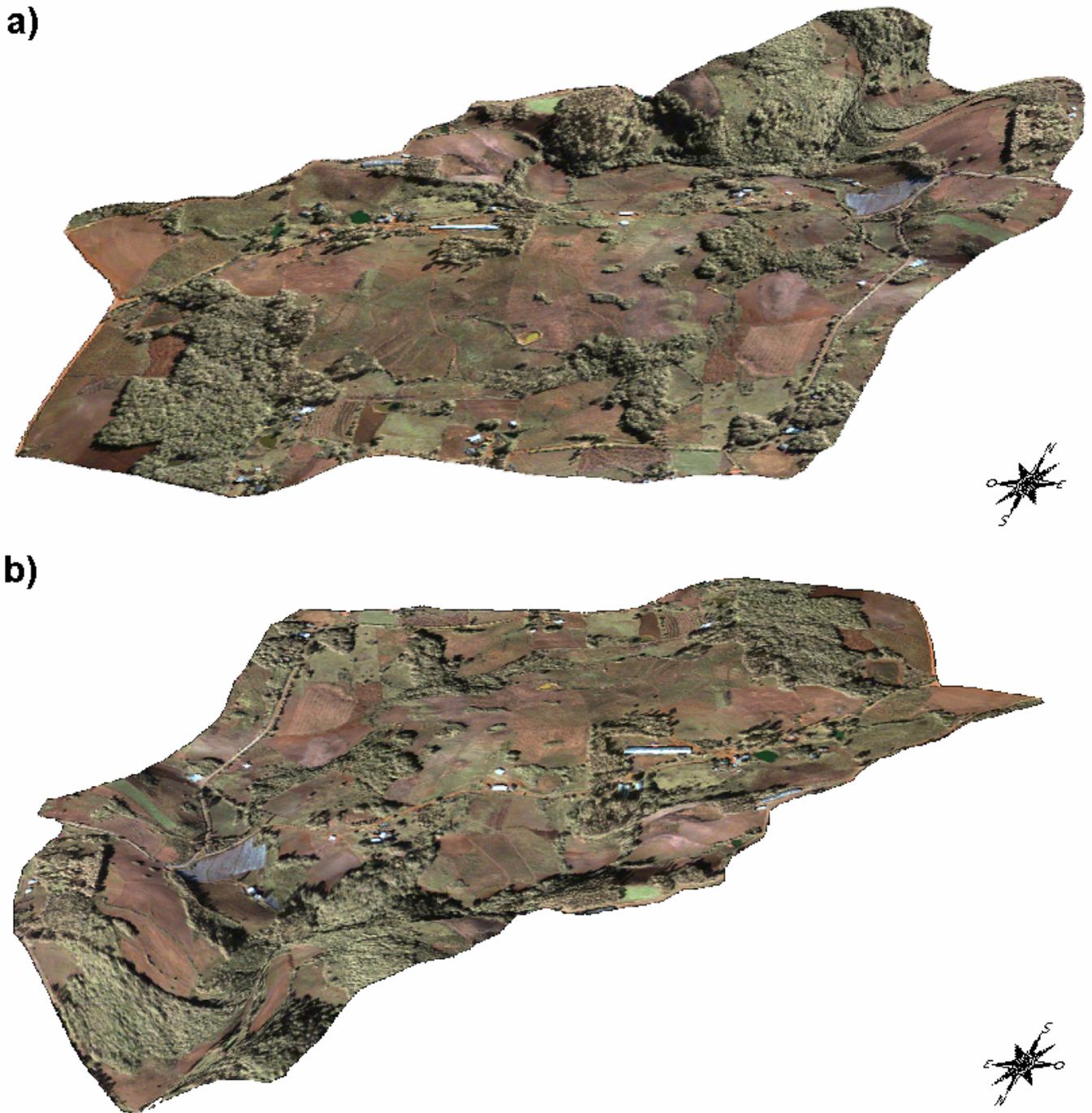


Figura 4. Representação em perspectiva tridimensional vista de Sul **(a)** e de norte **(b)** da PBRH do arroio Lajeado Ferreira.

A erosividade da chuva para a PBHR do Arroio Lajeado Ferreira foi determinada por Argenta (2002) conforme o método desenvolvido por Lombardi (1977), obtendo como resultado um valor de $6540 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ hora}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Verifica-se que os meses onde ocorrem as chuvas com maior erosividade (setembro / outubro) coincidem com o período em que o solo está sendo preparado para o fumo na PBHR, o que aumenta consideravelmente as perdas de solo por erosão.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é Cfb – clima subtropical, super-úmido, mesotérmico. A temperatura média máxima anual é de aproximadamente $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e a temperatura média mínima anual é de aproximadamente $12,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989). A precipitação média anual é de aproximadamente 1980 mm sendo as chuvas bem distribuídas durante todo o ano, não apresentando estação seca.

A vegetação nativa é a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Aberta, pertencentes à Mata Atlântica. Entretanto, o ambiente está alterado pelo extrativismo e agricultura, sendo que as formações nativas são apenas resquícios (Liesenfeld e Corbellin, 2002).

De acordo com o mapa de uso atual do solo na PBHR (Figura 5), as áreas de mata (considerando junto às áreas de reflorestamento e pousio) ocupam 27,2% da área da PBHR; as áreas de agricultura ocupam 63,3% e os campos /potreiros ocupam 9,5% da área da PBHR.

Verifica-se também na Figura 5 que as áreas de mata ciliar não foram respeitadas durante o processo de exploração agrícola, apresentando pouca ou nenhuma vegetação.

Em relação aos dados sócio-econômicos da região a mesma caracteriza-se por apresentar um dos maiores índices de pobreza rural do estado (FEE, 2005). A produção de fumo (*Nicotiana tabacum* L), juntamente com a erva-mate, são as principais atividades econômicas da região. No caso da bacia em estudo a atividade econômica principal é a produção de fumo.

O sistema de cultivo do fumo é caracterizado pela mão-de-obra exclusivamente familiar, uso excessivo de adubos e poucos cuidados com os recursos naturais. O preparo do solo é realizado pelo menos uma vez ao ano com emprego do arado do tipo “pula-toco” com força de tração animal. No inverno é utilizada aveia como planta de cobertura do solo, porém, a produção

de biomassa é baixa. Além disto, os agricultores até a entrada do Programa RS-RURAL (que fomentou o uso de adubos verdes de inverno e verão e o cultivo mínimo), não utilizavam nenhuma prática conservacionista, sejam elas mecânicas ou vegetativas. O pacote tecnológico das empresas fumageiras é aplicado a todos os produtores de forma homogênea sem considerar os diferentes atributos do solo. A grande maioria dos fumicultores utiliza calcário em intervalos de tempo compatível com as recomendações técnicas. O sistema de adubação desconsidera a análise de solo e/ou o histórico das diferentes glebas. Os fertilizantes são entregues aos produtores juntamente com todos os insumos necessários a implantação, condução, colheita e beneficiamento do fumo. Deste modo, o produtor não tem capacidade de escolha.

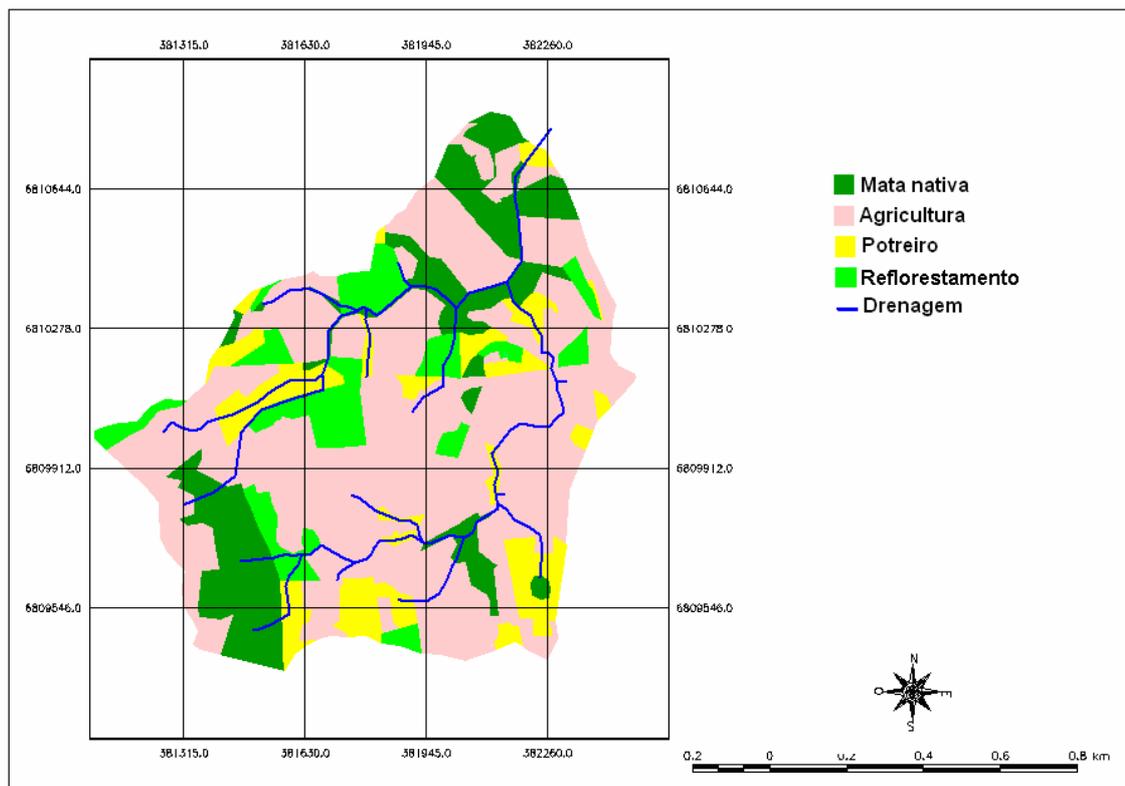


Figura 5. Uso atual do solo na PBHR do arroio Lajeado Ferreira.

As quantidades de nutrientes adicionados na cultura de fumo são, na grande maioria das situações, muito maiores que as necessárias (UFSM, 2001). A fertilização visa garantir o suprimento de nutrientes às plantas, não levando em consideração aspectos econômicos e ambientais. Em levantamentos realizados em regiões produtoras de fumo, verificou-se que os

teores de fósforo e potássio no solo apresentam-se, muitas vezes, acima do nível crítico, a necessidade de calcário é baixa ou nula e os teores de matéria orgânica do solo são muito baixos (UFSM, 2001).

5.2 Amostragem de solo para determinação do COT

Foram utilizados resultados das análises de solo oriundos das áreas já selecionadas para a elaboração da tese de doutorado da aluna Nilvania A. de Mello (PPG Ciência do Solo – UFRGS) (Mello, 2004) (Figura 6). Com isto, na amostragem de solo, foi levado em consideração a necessidade de se caracterizar adequadamente os estoques de COT e o histórico de uso e manejo de solos na PBHR. Os critérios para a seleção dos locais de amostragem foram: possuir declividade entre 8 e 12%; possuir um tempo de uso e manejo do solo longo o suficiente para se ter a informação de quanto tempo a área está sendo cultivada e mais quanto tempo a mesma continuará sendo cultivada; disponibilidade de acesso e de diálogo com o produtor.

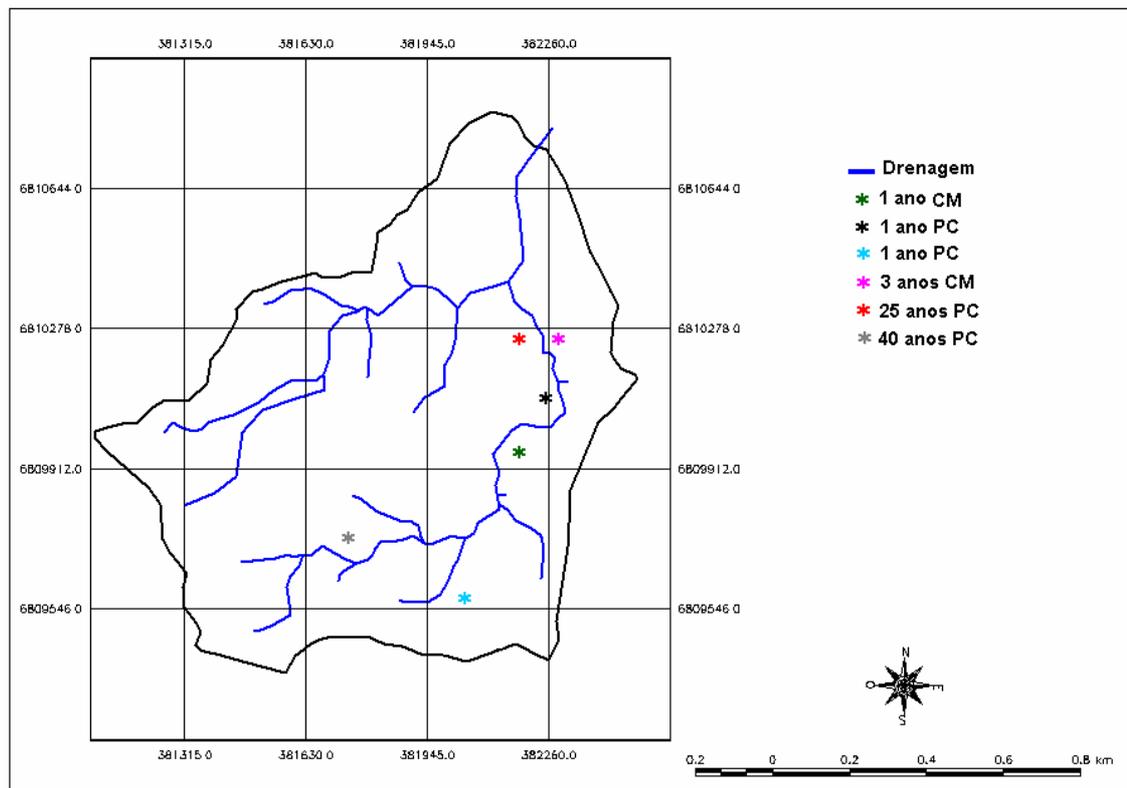


Figura 6. Localização dos pontos de amostragem do solo na PBHR (Mello, 2004).

Para a determinação do COT na situação de floresta subtropical (vegetação nativa da região da PBHR), inicialmente foram utilizados os dados

de COT obtidos por Mello (2004) para as três classes de solo avaliadas (Alissolo Crômico argilúvico abrupto, Cambissolo Háptico Ta distrófico típico e Neossolo Regolítico distrófico típico), mas como haviam dúvidas sobre a vegetação sobre o solo Neossolo Regolítico distrófico típico, se tratava-se realmente de mata primária, foi realizada uma nova coleta em março de 2005 para as três classes de solo, em áreas nas quais tinha-se certeza de que se tratava de mata primária. Os valores desta segunda coleta não diferiram dos primeiros, e como as áreas eram fora da PBHR estudada, optou-se por se utilizar os dados do Alissolo Crômico argilúvico abrupto e do Cambissolo Háptico Ta distrófico típico obtidos por Mello (2004), sendo para o Neossolo Regolítico distrófico típico utilizados os resultados de COT obtidos em março de 2005.

Vale ressaltar que na execução deste trabalho também foram utilizados dados complementares de solo oriundos de relatórios técnicos realizados em diversas áreas da PBHR pela equipe da EMATER/RS (FEPAGRO, 2005) e UFSM (UFSM, 2001 e 2004).

5.2.1 Procedimentos de coleta e análises laboratoriais

5.2.1.1 COS e textura: em cada área foram abertas nove trincheiras, sendo três no terço superior, três no terço médio e três no terço inferior no sentido do declive. Em cada trincheira foram coletadas amostras de três profundidades, 0 - 2,5 cm, 2,5 – 7,5 cm e 7,5 – 17,5 cm. As amostras foram secas ao ar, moídas em gral de ágata e o conteúdo de carbono foi determinado em analisador de COT da marca Shimadzu, do laboratório de Manejo de Solos – UFRGS. A textura foi determinada pelo método da pipeta, conforme descrito em EMBRAPA (1997) nas mesmas amostras utilizadas para análise do COT.

5.2.1.2 Densidade global do solo: amostras indeformadas foram coletadas com o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), de 0,05 m de altura e 0,08 m de diâmetro, nas áreas de mata. Os anéis volumétricos com as amostras foram levados à estufa à 105°C por 24 horas para posterior determinação da massa de solo.

5.3. Implementação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

O SIG no trabalho foi executado em ambiente Spring 4.2 (Spring, 1996), e teve como função a integração e a manipulação das informações de maneira organizada em diferentes *planos de informação temáticos* na forma de mapas digitais com tabelas de dados associadas.

5.3.1 Base cartográfica (mapa-base): Foi utilizada a carta topográfica “Arvorezinha” com escala 1:50.000, folha SH. 22-V-B-IV-4 MI – 2934/4, que engloba o município de Arvorezinha. O georreferenciamento foi feito utilizando o *datum* Córrego Alegre, pelo fato de ser o mesmo utilizado na carta topográfica, evitando assim, problemas com a conversão de *datum*.

5.3.2 Vegetação original: Foi obtido um reconhecimento prévio da vegetação da região a partir de estudos, relatórios e mapas já efetuados para a área. Procurou-se reconstituir o cenário de uso do solo da bacia na sua condição original a partir do registro aerofotogramétrico mais antigo disponível: fotografias aéreas verticais, pancromáticas, na escala de 1:60.000, datadas de 1965, adquiridas junto a 1ª Divisão de Levantamento do Exército (DL), referentes a PBHR do arroio Lajeado Ferreira. A partir delas foi delineada a PBHR e ampliada a parte da foto aérea, a qual corresponde à PBHR, para escala 1:25.000. Estas aerofotos foram digitalizadas em scanner de mesa e georreferenciadas ao mapa-base. A partir da identificação visual de feições da vegetação por fotointerpretação, foi construído um mapa vetorial representando a vegetação de 1965.

5.3.3 Evolução de uso e manejo dos solos: a identificação da evolução de uso e manejo do solo de forma espacializada foi feita utilizando dados satelitais do LANDSAT. Do ano de 1972 até 1983 foram utilizadas imagens do sensor MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*) com resolução espacial de 80 metros, a partir de 1983 até a atualidade foram utilizadas imagens com sensor TM (*Thematic Mapper*) com resolução espacial de 30 metros. Inicialmente foi feita uma tentativa de classificação digital das imagens MSS, mas a resolução espacial de 80 metros associada à pequena área da PBHR, não possibilitaram uma identificação adequada. A partir da disponibilidade de imagens com resolução espacial de 30 metros – sensor TM – foram utilizadas técnicas de classificação digital de imagens para caracterizar

a vegetação de 1995 até 2004. Estas datas foram determinadas a partir de imagens anteriormente adquiridas e disponibilizadas pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS.

A partir da fotointerpretação da aerofoto datada de 1965 foi reconstituída a evolução do uso e manejo do solo na região da PBHR. Esta reconstituição foi feita a partir de dados levantados em saídas de campo, com auxílio de questionários feitos aos moradores mais antigos a respeito do modo, área e época de ocupação das diferentes áreas da bacia.

Com a aerofoto já interpretada, foi possível verificar a porcentagem e área da bacia que em 1965 ainda estava recoberta por mata nativa, e a porcentagem e área que já havia sido explorada pela atividade agrícola. Com estes dados em mãos, e a informação de que as primeiras três famílias que chegaram à bacia, aproximadamente, foi entre os anos de 1920 a 1925, considerou-se um crescimento linear das áreas agrícolas, partindo dos três pontos onde, segundo relatos históricos de antigos moradores, houve o início da exploração agrícola na PBHR. Foi utilizado o crescimento linear levando-se em consideração dados oriundos dos anuários agrícolas realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em anos específicos. Com isso, sabendo-se que em 1965 havia aproximadamente 75% da área já explorada com culturas agrícolas, e sabendo-se que em 1915 começou a exploração, adotou-se uma taxa de expansão agrícola de 15% a cada 10 anos, assim, em 1925 15% da área da bacia já havia sido explorada; em 1935: 30%; em 1945: 45%; em 1955: 60% e em 1965: 75%.

A partir de 1965, a evolução do uso e manejo do solo foi estudada de 20 em 20 anos (1985 e 2005) e foi identificada através da classificação supervisionada de imagens de satélite LANDSAT TM. Antes da classificação propriamente dita, foi realizada a segmentação da imagem no *software* Spring 4.2, onde esta foi dividida em regiões espectralmente homogêneas, através do método de crescimento por regiões, o qual tem mostrado bom desempenho na segmentação de áreas agrícolas e de vegetação natural (Moreira, 2003). A segmentação por crescimento de regiões é uma técnica em que somente as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas, segundo algum critério de similaridade (Spring, 1996). Na classificação supervisionada, o usuário define as assinaturas espectrais de categorias conhecidas, tais como florestas ou

águas, associando depois, cada pixel da imagem à classe com assinatura espectral mais similar. A composição colorida RGB-543 (atribuindo tons de vermelho à banda correspondente ao comprimento de onda do vermelho, tons de verde à do infravermelho próximo e tons de azul à do infravermelho médio) foi escolhida, pois constitui na melhor composição para estudar aspectos relacionados ao solo (Moreira, 2003).

Visando um melhor resultado da classificação, foram realizadas saídas para se verificar os dados obtidos a campo.

A identificação do uso atual do solo (do ano 2005) foi feita a partir de dados levantados, pelo técnico residente na bacia, em todas as glebas com caminhamento na PBHR e georreferenciamento com auxílio de GPS (*Global Positioning System*) de navegação da marca GARMIN, com precisão de até 20 metros, em toda a área de estudo. Para auxiliar esta identificação foi utilizada uma imagem de alta resolução do satélite *QuickBird*, com resolução espacial que pode chegar a 0,6 metros.

5.3.4. Solos: o mapa de solos na escala de 1:25.000 resultante do levantamento realizado pela equipe da EMATER de Porto Alegre (FEPAGRO,2005), em uma área maior a qual engloba a área da PBHR do arroio Lajeado Ferreira, foi vetorizado no *software* Spring 4.2. Após, foi feito um recorte deste mapa utilizando a máscara já confeccionada com o limite da PBHR. Na execução deste levantamento realizado pela EMATER levou-se em consideração a declividade máxima e mínima nos quais foram encontrados os diferentes tipos de solos. As classes taxonômicas de solos identificadas no levantamento pedológico da PBHR (FEPAGRO, 2005) foram agrupadas em cinco unidades de mapeamento (UM) combinadas na forma de associação de solos (Tabela 2). Uma UM de solos são as representações gráficas da ocorrência e da distribuição geográfica das classes taxonômicas no mapa de solos, mostrando no mapa a localização, a extensão, o arranjo e a disposição das classes taxonômicas no terreno. Na compilação do mapa de solos feito pela EMATER/RS, objetivou-se uma maior simplificação das associações encontradas nas cinco UM. Esta simplificação foi feita levando em consideração a proporção estimada de cada componente da associação, agrupando em três Unidades de Mapeamento (UM). Assim, representou-se a UM AC_{t1} como a Unidade de Mapeamento 1 (**UM 1**); as UM CXvd₁ e CXvd₄

como a Unidade de Mapeamento 2 (**UM 2**) e as UM RRd₃ e RRd₁ como a Unidade de Mapeamento 3 (**UM 3**). O mapa temático elaborado para PBHR, que foi compilado a partir do mapa da EMATER/RS (FEPAGRO, 2005), é mostrado na Figura 7.

Tabela 2. Identificação das Unidades de Mapeamento (UM) da PBHR, com o símbolo da composição de solos e a proporção estimada de cada componente da associação de solos

| UM | Símbolo da composição | Composição da Unidade de Mapeamento | Proporção estimada dos componentes (%) |
|-------------------------|------------------------------|---|---|
| UM 1: | | | |
| ACt₁ | ACt1+CXvd+RRd | Alissolo Crômico argilúvico abrupto + Cambissolo Háptico Ta distrófico típico + Neossolo Regolítico distrófico típico 0 a 10 % de declive | 40; 35 e 25 |
| UM 2: | | | |
| CXvd₁ | CXvd+RRd+ACt1 | Cambissolo Háptico Ta distrófico típico + Neossolo Regolítico distrófico típico + Alissolo Crômico argilúvico abrupto 10 a 20 % de declive | 40; 30 e 30 |
| CXvd₄ | CXvd+RRd | Cambissolo Háptico Ta distrófico típico + Neossolo Regolítico distrófico típico 0 a 10 % declive | 60 e 40 |
| UM 3: | | | |
| RRd₃ | CXvd+RRd | Neossolo Regolítico distrófico típico + Cambissolo Háptico Ta distrófico típico > 30 % declive | 60 e 40 |
| RRd₁ | RRd +CXvd | Neossolo Regolítico distrófico típico + Cambissolo Háptico Ta distrófico típico 10 a 20 % declive | 60 e 40 |

Os solos da UM 1 encontram-se na porção superior da bacia, em uma declividade máxima em torno de 10%, sendo um solo com uma susceptibilidade moderada à erosão e moderadamente drenado. É comum encontrar matacões na sua superfície.

Os solos da UM 2 encontram-se na porção média da bacia, com uma declividade máxima de 20%, uma susceptibilidade moderada à perda de solo

por erosão e uma drenagem moderada, possui a presença de matacões e cascalhos na superfície.

Os solos da UM 3 predominam na parte inferior da bacia, nas áreas que possuem de 10 a 30% de declive e, devido a isto, apresenta uma susceptibilidade moderadamente alta à erosão. É um solo bem drenado e pedregoso na superfície, com presença de matacões.

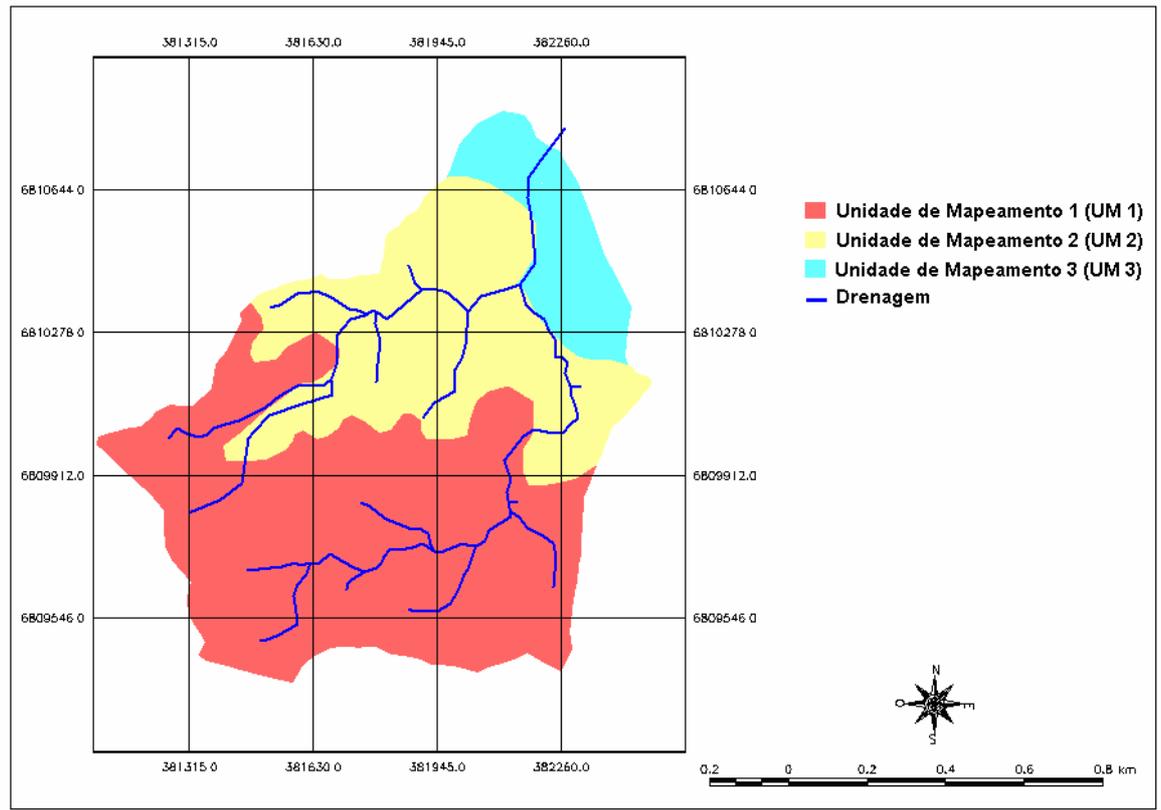


Figura 7. Mapa temático das Unidades de Mapeamento (UM) encontradas na PBHR compilado a partir do mapa da EMATER (FEPAGRO, 2005).

5.3.5 Cruzamentos dos planos de informação (PI's): um Plano de Informação (PI) é formado por um conjunto de objetos que tem características básicas em comum. No *software* Spring 4.2, em um projeto todos os PI's estão associados a uma Categoria e conseqüentemente referem-se a um único modelo de dados (temático, numérico, imagem, cadastral ou rede). As representações de um PI são diferenciadas em função do modelo de dados ao qual pertencem; por exemplo, um PI de categoria numérica poderá ter como representações: amostras (pontos e linhas), grade regular, grade triangular (TIN) ou isolinhas.

Um PI deve pertencer a uma única categoria e conseqüentemente a um único modelo de dados; deve ter um retângulo envolvente menor ou igual ao do projeto e deverá ter escala (para categoria temática, cadastral e rede) e resolução espacial (para categoria numérica e imagem) compatíveis com os dados.

Para a confecção do mapa da evolução do uso e manejo do solo na PBHR foram realizados um total de quatro cruzamentos entre mapas de diferentes épocas no *software* Spring 4.2 (Figura 8). Estes cruzamentos foram executados de dois em dois mapas, isto é, foi cruzado o mapa de lavouras desde 1925 com o mapa de lavouras desde 1945, o resultado desse cruzamento foi utilizado no cruzamento com o mapa de lavouras desde 1965, e assim por diante até o último cruzamento com as lavouras de 2005. Estes cruzamentos foram realizados através da operação *booleana* do LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos: mapa temático, modelo numérico de terreno e imagem. O LEGAL é uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. A operação *booleana* é utilizada em análises espaciais qualitativas que geram mapas temáticos através de informações de entrada que podem ser temáticas, numéricas ou imagem; e possui regras que especificam o conjunto de condições a ser satisfeitas para cada tema de saída.

Com o cruzamento dos mapas de uso e manejo do solo dos anos: 1925, 1945, 1965, 1985 e 2005, gerou-se o mapa final de dinâmica do uso e manejo do solo destes 80 anos de exploração agrícola na bacia (Figura 8).

5.4 Elaboração das Unidades de Simulação

Para estudar o comportamento do CO no solo da PBHR ao longo do tempo, dividiu-se a área da bacia em áreas homogêneas. Na divisão das áreas homogêneas consideraram-se aspectos importantes que influenciam no comportamento do CO no solo, que foram: o tempo de agricultura e o tipo de solo. Sendo assim, cada unidade de simulação foi espacialmente representada num mapa temático por diferentes classes de acordo com o tempo de agricultura e o tipo de solo e, posteriormente, foi realizada a simulação no modelo *Century*.

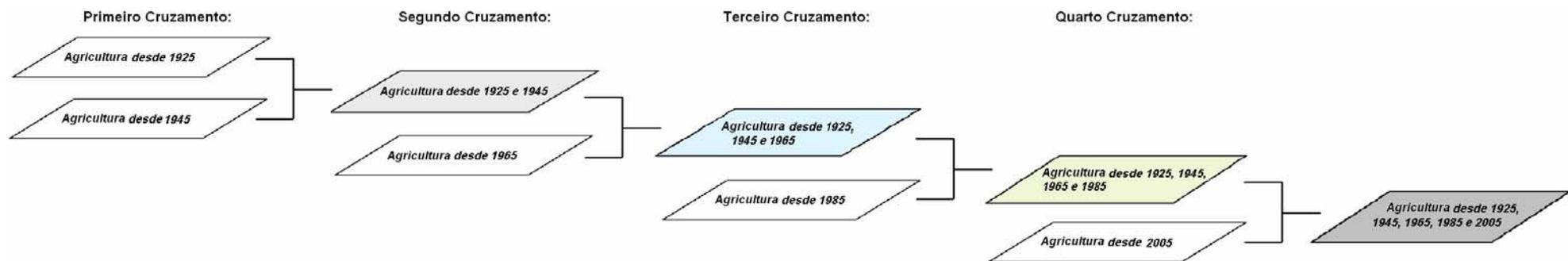


Figura 8. Representação esquemática dos cruzamentos dos PI's dos tempos de agricultura na PBHR.

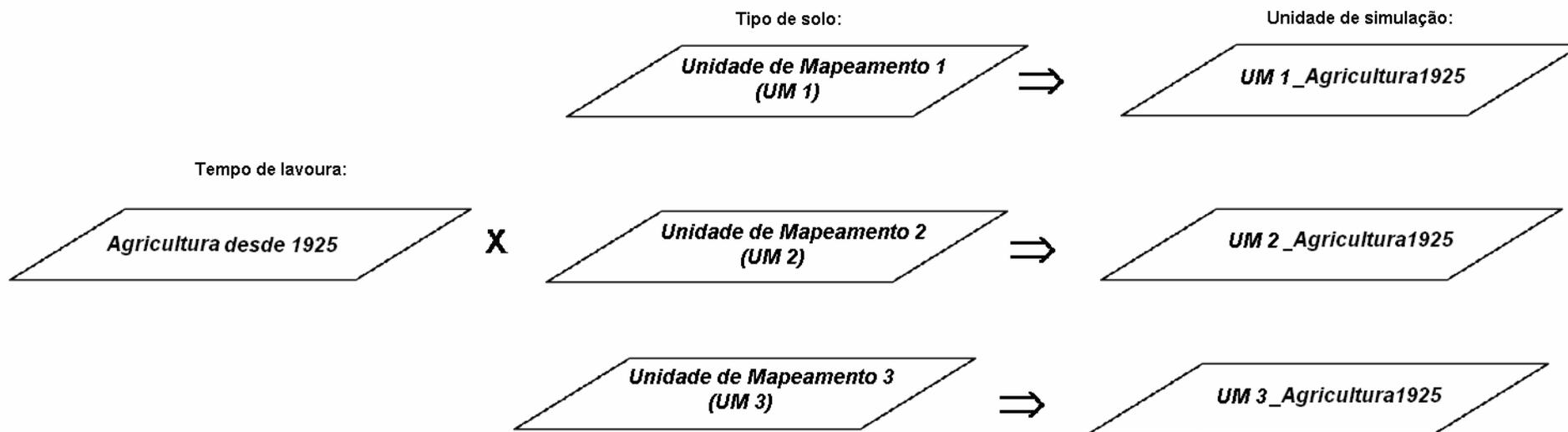


Figura 9. Representação esquemática dos cruzamentos dos PI's da evolução do uso e manejo do solo e as três Unidades de Mapeamento (UM) encontradas na PBHR, os quais originaram as unidades de simulação. Esta figura está representando apenas uma das cinco classes de tempo de agricultura.

A obtenção do mapa final com as unidades de simulação foi feita a partir do cruzamento (através da operação *booleana* da linguagem LEGAL do Spring 4.2) (Figura 9) do mapa final da dinâmica do uso e manejo do solo (com 5 classes) com o mapa de solos constituídos por 3 unidades de mapeamento (UM) de solos diferentes, o qual originou um mapa final com 15 classes/unidades de simulação.

5.5 Obtenção das variáveis de entrada do modelo *Century*

Para o funcionamento do modelo, é necessário um conjunto mínimo de variáveis locais de entrada que devem ser fornecidas. Estas são divididas em variáveis climáticas, de solo e de planta, e foram obtidas da seguinte maneira:

- Temperatura média mensal (máxima e mínima) e precipitação média mensal (Apêndice 1): utilizou-se a média mensal calculada a partir de dados diários de 1950 a 2000 da estação meteorológica do município de Passo Fundo (8º DISME/INMET), gentilmente cedidos pelos Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS. Utilizou-se esta estação devido à falta de dados climáticos para o município de Arvorezinha, além disto, a estação de Passo Fundo localiza-se próximo da área de estudo e possui altitude semelhante. Estes dados foram incluídos no arquivo de dados locais (SITE.100) do modelo *Century* (Apêndice 2).

- Granulometria do solo (areia, silte e argila): foram utilizados os resultados da análise granulométrica (Apêndice 3) realizadas pelo método da pipeta em amostras coletadas nas áreas sob o solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico (Mello, 2004). Também foram utilizados dados oriundos do relatório realizado na PBHR pela EMATER/RS (FEPAGRO, 2005) para o solo Alissolo Crômico argilúvico abrupto e o solo Neossolo Regolítico distrófico típico.

- Valores de pH (Apêndice 3) e densidade global do solo: foram obtidos respectivamente por leitura em pHmetro marca Digimed e pelo método do anel volumétrico em amostras coletadas no solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico resultando na densidade de $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ (Mello, 2004). Devido à ausência de dados de densidade global para os solos Alissolo Crômico

argilúvico abruptico e Neossolo Regolítico distrófico típico, nas simulações destes solos foi utilizado o mesmo resultado obtidos para o solo Cambissolo.

- Teor de lignina das plantas: foram utilizados os valores padrões do modelo (arquivo CROP.100) para as culturas utilizadas na simulação (Apêndice 4). Devido à carência de parâmetros para a cultura do fumo no *default* do modelo *Century*, foram utilizados parâmetros de tomate, por ser uma cultura com características semelhantes à cultura do fumo, além de pertencerem à mesma família (*Solanaceae*). Estes parâmetros são os mesmos utilizados pelo grupo de pesquisa da Universidade do Colorado (EUA), aonde foram iniciadas as pesquisas com o modelo *Century*.

- Quantidade de CO (Mg ha⁻¹) dos compartimentos ativo, lento e passivo do solo: os valores de CO destes compartimentos, sob floresta subtropical, foram estimados a partir da execução do modelo *Century* para um período de tempo de 6.000 anos (rodagem de equilíbrio). É necessária a simulação de tal período, pois as frações do carbono no solo são muito dinâmicas e, além disto, são dependentes entre si, da vegetação e do clima da região, assim, ocorre equilíbrio entre estas frações somente quando todo o sistema entra em equilíbrio.

A adição anual de C ao solo pela floresta foi regulada através da alteração no parâmetro PRDX (potencial de produção de biomassa mensal), de modo que a quantidade total de CO do solo, estimada pelo modelo, fosse aproximada dos valores de CO obtidos pela análise das amostras de solo das áreas de mata da PBHR. Os valores estimados de CO destes compartimentos, na condição de sistema estável, serviram como ponto de partida para a simulação das alterações no estoque de CO do solo em diferentes cenários de manejo.

- Dados de floresta subtropical: foi escolhida no arquivo TREE.100 do modelo *Century* (Apêndice 5).

- Perdas de solo por erosão: para cada UM foi estipulado um valor diferente de perda de solo por erosão (Mg ha⁻¹ ano⁻¹), de acordo com o teor de argila e declividade existente na paisagem nos quais foram encontrados os diferentes tipos de solos. Para determinação do valor da erosão, foram utilizados como base os valores originados da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) já calculada para a PBHR (Benatto et al., 2004),

considerando o uso do solo para as condições do ano de 2002 e manejo do solo para o cultivo da sucessão fumo – pousio em sistema com aração. Assim, na região dos solos localizados na maior declividade (UM 3, composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd), o valor utilizado foi igual ao valor médio calculado na EUPS; para os solos encontrados em uma declividade média (UM 2, composta pelos solos CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) o valor utilizado foi 75% do valor calculado na EUPS; já os solos localizados na menor declividade (UM 1, composta pelos solos ACt1+CXvd+RRd) o valor utilizado foi 50% do calculado na EUPS. Foi considerado como sistema de preparo do solo, em todos os tipos de solo, o plantio convencional. Assim, os valores obtidos e utilizados nas simulações encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Valores da perda de solo por erosão estimados pela EUPS para os diferentes tipos de solo da PBHR e corrigidos de acordo com o tipo de solo

| Tipo de Solo | Declividade (%) | Teor de argila (%) | Erosão hídrica estipulada (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) |
|---------------------|------------------------|---------------------------|--|
| UM 1* | 0-10 | 39,5 | 12,5 |
| UM 2** | 0-20 | 37,0 | 18,7 |
| UM 3*** | > 10 | 37,0 | 25,0 |

* UM formada pela composição dos solos: ACt1+CXvd+RRd

** UM formada pela composição dos solos: CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd

*** UM formada pela composição dos solos: CXvd+RRd e RRd +CXvd

Devido à inexistência de dados de pesquisas referentes à perda de solo por erosão para a cultura do fumo, nas simulações dos cenários futuros (período de 2005 a 2055) para o sistema fumo-aveia sob cultivo mínimo, considerou-se como perda neste período, metade do valor encontrado pela EUPS para os diferentes tipos de solos. Já para o sistema de plantio direto, nas simulações dos cenários futuros, foi considerada uma redução de 90% nos valores de erosão do solo calculados pela EUPS (Tabela 3). Estas considerações foram feitas tendo como base os resultados obtidos por Merten (1995) em um solo Cambissolo Álico, na região dos Campos Gerais no estado do Paraná, sob diferentes sistemas de preparo do solo com o uso de tração animal em parcelas com 20% de declividade para a sucessão tremoço / milho,

onde foi observado que, quando comparado ao plantio convencional, o cultivo mínimo foi capaz de reduzir as perdas de solo em até 50% e o plantio direto em mais de 90%.

O modelo *Century* simula a dinâmica da MO para a profundidade fixa de 0 a 20 cm. As perdas de solo na superfície são compensadas pela incorporação da mesma massa perdida dos horizontes subsuperficiais (abaixo de 20 cm de profundidade), com o objetivo de manter uma profundidade fixa de 20 cm durante todo o período de simulação (Pennock & Frick, 2001). O modelo considera que o COA do horizonte subsuperficial representa 20% do valor do horizonte superficial, o compartimento lento (COL) representa 40% e o compartimento passivo (COP) representa 80% do valor do horizonte superficial. Ou seja, o horizonte subsuperficial possui menos carbono que a superfície, como é usualmente determinado em amostras de campo.

Quando uma determinada perda anual de solo por erosão é prevista durante a elaboração de um cenário de manejo, o modelo estima a perda de CO em função de sua concentração no solo e de um fator de enriquecimento que multiplica duas vezes o teor de carbono no solo perdido.

5.6 Elaboração dos cenários de manejo

Para a simulação das alterações no estoque de CO a partir da condição de sistema estável, foram elaborados cenários de manejo (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8). O início da simulação em cada unidade de simulação variou de acordo com o início da exploração agrícola em cada área.

Os cenários de manejo futuros foram elaborados a partir de 2005 por mais 50 anos (até 2055) (Apêndice 6). A escolha do sistema de cultivo mínimo com fumo no verão e aveia no inverno foi baseada em estudos e resultados das práticas já realizadas na PBHR e de informações obtidas através de reuniões realizadas com este propósito com a equipe da EMATER de Porto Alegre e de Arvorezinha.

De acordo com informações históricas obtidas através de entrevistas realizadas aos antigos moradores da PBHR, o pousio foi simulado por tempos diferenciados ao longo do tempo. Sendo assim, até a década de 60, o tempo que os produtores deixavam a terra em pousio era de, aproximadamente, 10 anos, a partir desta época, esse tempo foi decrescendo, chegando a 5 anos de

pousio. Entre um pousio e outro, até a chegada da cultura de fumo na PBHR (o que aconteceu por volta do ano de 1960) os produtores cultivavam culturas de subsistência, que consistia basicamente em trigo no inverno e milho no verão. Com a introdução de fumo na PBHR, o sistema mudou para fumo no verão e pousio no inverno. Este sistema foi utilizado até o ano de 2004, sendo que a partir desta data, por consequência da ação do Programa RS-RURAL, passou-se a cultivar, em um grande número de propriedades, fumo no verão com cobertura de aveia no inverno.

As glebas sob o sistema de cultivo mínimo na bacia, são aradas e gradeadas para implantação da cultura de inverno (aveia), após, para o transplante do fumo, a aveia é dessecada e o camalhão é preparado com arado. Nestas condições a quantidade de resíduos presente na superfície proporciona uma razoável cobertura do solo.

Para a simulação da condição de pousio por 10 anos, foi necessário formular um sistema que se aproximasse do tipo de vegetação predominante presente nestas condições, pelo fato de não existir no *default* do modelo *Century* algum sistema de culturas que pudesse reproduzir a vegetação de regeneração de 10 anos. Para isto utilizou-se um tipo de pastagem (do arquivo GRAZ.100) (Apêndice 7) que é geralmente utilizada em simulações de equilíbrio de campo nativo por longos períodos de tempo (aproximadamente 6.000 anos) (Fernandes, 2002 ; Debarba, 2002) associada a um tipo de vegetação espontânea (do arquivo CROP.100) (Apêndice 4).

Tabela 4. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1925 a 2055

| Cenário de manejo | Período | Condições de manejo |
|--------------------------|----------------|---|
| | 1924 | Corte da floresta, retirada da madeira e queima do restante |
| | 1925 – 1935 | PC culturas de subsistência (trigo/milho) |
| | 1936 – 1945 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1946 – 1955 | PC culturas de subsistência (trigo/milho) |

Continua...

...continuação da Tabela 4

| | | |
|---|-------------|---------------------------------|
| | 1956 – 1960 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1961 – 1970 | PC fumo/pousio |
| 1 | 1971 – 1975 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1976 – 1980 | PC fumo/pousio |
| | 1981 – 1985 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1986 – 1990 | PC fumo/pousio |
| | 1991 – 1995 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1996 – 2000 | PC fumo/pousio |
| | 2001 – 2005 | PC fumo/aveia |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia milho/aveia |

PC: Plantio Convencional

CM: Cultivo Mínimo

Tabela 5. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período 1945 a 2055

| Cenário de manejo | Período | Condições de manejo |
|-------------------|-------------|---|
| | 1944 | Corte da floresta, retirada da madeira e queima do restante |
| | 1945 – 1955 | PC culturas de subsistência (trigo/milho) |
| | 1956 – 1960 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1961 – 1970 | PC fumo/pousio |
| | 1971 – 1975 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1976 – 1980 | PC fumo/pousio |
| 2 | 1981 – 1985 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1986 – 1990 | PC fumo/pousio |
| | 1991 – 1995 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1996 – 2000 | PC fumo/pousio |
| | 2001 – 2005 | PC fumo/aveia |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia |

PC: Plantio Convencional

CM: Cultivo Mínimo

Tabela 6. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1964 a 2055

| Cenário de manejo | Período | Condições de manejo |
|--------------------------|----------------|---|
| | 1964 | Corte da floresta, retirada da madeira e queima do restante |
| | 1965 – 1970 | PC fumo/pousio |
| | 1971 – 1975 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1976 – 1980 | PC fumo/pousio |
| | 1981 – 1985 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1986 – 1990 | PC fumo/pousio |
| 3 | 1991 – 1995 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| | 1996 – 2000 | PC fumo/pousio |
| | 2001 – 2005 | PC fumo/aveia |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia milho/aveia |
| | 2005 - 2055 | PD fumo/aveia* |
| | 2005 - 2055 | PD fumo/aveia milho/aveia* |
| | 2005 - 2055 | PC fumo/aveia* |
| | 2005 - 2055 | PC fumo/aveia milho/aveia* |

PC: Plantio Convencional CM: Cultivo Mínimo PD: Plantio Direto
*simulação realizada apenas sob o solo Cambissolo

Tabela 7. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 1984 a 2055

| Cenário de manejo | Período | Condições de manejo |
|--------------------------|----------------|---|
| | 1984 | Corte da floresta, retirada da madeira e queima do restante |
| | 1985 – 1990 | PC fumo/pousio |

...continuação da Tabela 7

| | |
|-------------|---------------------------------|
| 1991 – 1995 | Pousio com gramíneas e capoeira |
| 1996 – 2000 | PC fumo/pousio |
| 2001 – 2005 | PC fumo/aveia |
| 2005 - 2055 | CM fumo/aveia |

PC: Plantio Convencional CM: Cultivo Mínimo

Tabela 8. Cenário e eventos de manejo utilizados na simulação para os três diferentes solos da PBHR com vegetação original de floresta – período de 2004 a 2055

| Cenário de manejo | Período | Condições de manejo |
|-------------------|-------------|---|
| 5 | 2004 | Corte da floresta, retirada da madeira e queima do restante |
| | 2005 – 2006 | PC fumo/pousio |
| | 2005 - 2055 | CM fumo/aveia |

PC: Plantio Convencional CM: Cultivo Mínimo

5.7 Cálculo do potencial de “seqüestro” de carbono na PBHR

A partir das simulações futuras de CO no solo na bacia, foi possível se verificar o potencial de adição / “seqüestro” de carbono utilizando o sistema de CM com fumo e aveia na bacia por um período de 50 anos (até o ano de 2055). Foi escolhido o CM por ser, atualmente, o sistema de preparo conservacionista do solo mais aceito pelos produtores da PBHR.

A partir da espacialização destes valores, se obteve o teor de CO no solo em toda a área da bacia em 20 cm de profundidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes à simulação do equilíbrio do modelo *Century*, a dinâmica do uso e manejo do solo, a geração das unidades de simulação, a simulação dos cenários de manejo sobre o comportamento do COT no solo e a estimativa futura do teor de COT no solo da PBHR.

6.1. Parametrização inicial do modelo *Century* por simulações de equilíbrio para situação de mata subtropical nas três Unidades de Mapeamento de solos

As informações referentes à distribuição dos compartimentos da MOS podem ser obtidas pelo próprio modelo. Neste caso, faz-se uma simulação por um longo período de tempo com manejo constante e geralmente na condição inicial da área (vegetação nativa) para que todas as variáveis de saída do modelo se estabilizem. Tal procedimento foi tratado como execução de equilíbrio.

Assim, neste trabalho, após a sua parametrização com os dados de clima e solo, o modelo *Century* foi executado por um período de 6000 anos nas condições de mata nativa, buscando-se a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo.

Na situação de floresta subtropical (vegetação nativa da região da PBHR), o valor estimado pelo modelo referente ao estoque total de CO no solo até 20 cm de profundidade foi de 62,8 Mg ha⁻¹ para o solo Alissolo Crômico argilúvico abrupático (correspondente a UM 1), de 62,0 Mg ha⁻¹ para o solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico (correspondente a UM 2) e de 61,1 Mg

ha⁻¹ para o solo Neossolo Regolítico distrófico típico (correspondente a UM 3) (Tabela 9). Este valor ficou aproximado dos valores de COT obtidos pela análise das amostras de solo coletadas em março de 2005 sob vegetação nativa nos diferentes solos existentes na PBHR. Esta aproximação foi possível pela alteração do parâmetro PRDX (4) do arquivo TREE.100 do modelo *Century*. Este parâmetro que indica o potencial máximo de adição mensal de C pela parte aérea da cultura em questão, quando não ocorrerem limitações ao crescimento vegetal, pode ser modificado pelo usuário para aproximar os valores simulados dos dados reais. Este procedimento é importante, especialmente na simulação de equilíbrio, porque todas as demais simulações tomarão esta como base. Os valores adotados para o parâmetro PRDX (4) para floresta subtropical constam no Apêndice 5.

Analisando os resultados da parametrização para os solos da PBHR (Tabela 9), verifica-se que as proporções em cada compartimento de CO são as mesmas nos três diferentes solos, isto é, o compartimento ativo corresponde a aproximadamente 2,3% do COT do solo; o compartimento lento corresponde a aproximadamente 50,3% do COT encontrado no solo; já o compartimento passivo corresponde a aproximadamente 47,4% do COT presente no solo.

Tabela 9. Estoques de carbono orgânico total (COT) e de carbono (C) nos diferentes compartimentos obtidos pela simulação de equilíbrio nos solos sob floresta subtropical

| Compartimento | Alissolo Crômico argilúvico abrupto* | Cambissolo Háplico Ta distrófico típico** | Neossolo Regolítico distrófico típico*** |
|--------------------------------|---|--|---|
| Estoque (Mg ha ⁻¹) | | | |
| C ativo | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| C lento | 30,6 | 30,1 | 30,3 |
| C passivo | 28,8 | 28,4 | 27,5 |
| COT | 62,8 | 62,0 | 61,1 |

*correspondente a UM 1

**correspondente a UM 2

***correspondente a UM 3

Comparando-se estes valores com valores obtidos por outros autores que também realizaram a simulação de equilíbrio de solos sob floresta subtropical (Debarba, 2002) e sob campo nativo (Fernandes, 2000; Debarba, 2002), verifica-se grande semelhança no comportamento dos valores observados nas diferentes frações nos resultados obtidos, conforme observado na Tabela 10.

O COT pode ser calculado pelo modelo *Century* através do somatório dos compartimentos de solo: ativo, lento e passivo (variável de saída: SOMSC) ou através do somatório dos compartimentos de solo mais os compartimentos de planta: metabólico e estrutural (variável de saída: SOMTC). Esta escolha é feita na etapa de determinação das variáveis de saída, pelo usuário do modelo, e não afeta significativamente o resultado final. Neste trabalho, utilizou-se a variável SOMTC, a mesma utilizada por Fernandes (2002).

Tabela 10. Estoques de carbono orgânico total (COT) e de carbono (C) nos diferentes compartimentos obtidos com o Modelo *Century* por diversos autores

| Compartimento | Lopes | | Fernades | | Debarba | | Debarba | |
|--------------------------------|---------|---------|----------|---------|-----------|---------|------------|---------|
| | (2005)* | | (2002)** | | (2002)*** | | (2002)**** | |
| Estoque (Mg ha ⁻¹) | | | | | | | | |
| C ativo | 1,4 | (2,3%) | 1,1 | (2,5%) | 1,9 | (3,2%) | 2,9 | (3,3%) |
| C lento | 30,1 | (50,2%) | 22,1 | (50,2%) | 23,7 | (39,7%) | 31,5 | (35,7%) |
| C passivo | 28,4 | (47,4%) | 19,4 | (44,1%) | 34,1 | (57,1%) | 53,6 | (60,9%) |
| COT | 62,0 | (100%) | 44,0 | (100%) | 59,7 | (100%) | 88,0 | (100%) |

* Simulação para Cambissolo Háplico Ta distrófico típico, clima Cfb, Floresta

** Simulação para Argissolo Vermelho distrófico típico, clima Cfa, campo nativo

*** Simulação para Latossolo Vermelho distroférico típico, clima Cfb, Floresta

**** Simulação para Latossolo Bruno alumínico câmbico, clima Cfb, Campo nativo

O carbono ativo representa a fração de carbono mais lábil no solo, ou seja, aquela que é de fácil degradação. Nesta fração estão a biomassa microbiana, seus exudatos e subprodutos, os resíduos vegetais degradados mais fisicamente que quimicamente e algumas substâncias de fácil decomposição geradas pela degradação, tais como ácidos orgânicos, amidos, proteínas, etc. Sendo assim, esta fração é a que está no solo em menor

quantidade porque é facilmente degradada. Dados semelhantes foram obtidos para áreas de vegetação nativa por Fernandes (2002) e Debarba (2002).

O carbono lento permanece por mais tempo no solo, por isso o valor observado para esta fração é maior. Neste estágio, o carbono passa a interagir mais com a matriz do solo, e passa a receber proteção física e química, o que permite sua acumulação no solo. Além disto, esta fase é mais estável, pois já está em grande parte decomposta e protegida dentro dos agregados. Já o carbono passivo representa a fração de carbono que permanece no solo devido, principalmente, à interação com minerais e a mecanismos de recalcitrância relacionados com as moléculas presentes nos resíduos. Quanto maior for o conteúdo de elementos de difícil degradação, como ligninas e ceras, na vegetação que dá origem à MOS, maior será o conteúdo de carbono passivo no solo, bem como, solos argilosos e ricos em óxidos de ferro com elevada área superficial para proteção coloidal. Esta fração é importante porque permanece por muito tempo no solo, chegando a permanecer até 2000 anos. Este comportamento pode dificultar o entendimento da dinâmica do carbono sob diferentes sistemas de manejo, pois esta fração chega a representar 50% do COT do solo segundo o padrão do modelo *Century* (Fernandes, 2002). Assim, se a simulação inicial não for bem ajustada e conduzida, podem ocorrer erros na interpretação dos valores observados quando o solo é utilizado para agricultura, pois pode não ocorrer diferenças entre os sistemas de manejo convencional e aqueles de caráter conservacionista devido à elevada permanência do carbono passivo que estará embutido no COT.

O carbono passivo também é muito influenciado pelo tipo de vegetação, solo e clima. Áreas sob clima temperado tendem a apresentar valores maiores de carbono passivo, pois o tipo de vegetação existente nestas áreas tende a ser mais lignificada e o clima mais ameno reduz a taxa de decomposição do carbono, permitindo assim maior acúmulo (Fernandes, 2002).

6.2. Evolução do uso e manejo do solo na PBHR

Reconstituir a história do uso e manejo do solo é uma tarefa essencial e decisiva em trabalhos que estudam a dinâmica de COS, pois sabe-

se que os diferentes compartimentos de C permanecem por períodos diferenciados no solo, e são muito influenciados pelo tempo de uso e sistema de manejo do mesmo. Porém, reconstituir a história de uma determinada região, muitas vezes, é uma tarefa bastante laboriosa, devido, principalmente, à escassez de registros e dados a respeito e, ao insuficiente conhecimento dos moradores da região, que muitas vezes são novos na área e desconhecem o passado da mesma. Sendo assim, o aspecto de disponibilidade e confiabilidade na informação histórica da PBHR mostrou-se um dos mais críticos, tendo em vista sua influência direta no estabelecimento dos cenários de uso e manejo de solo do modelo *Century*.

Neste trabalho, o registro oficial mais antigo que se conseguiu obter foi uma aerofoto da região da PBHR datada de 1965. Nesta aerofoto foi feita uma segmentação, isto é, a imagem foi dividida em regiões espectralmente homogêneas, facilitando assim a sua posterior classificação em uso do solo de mesma natureza. Foi realizada uma classificação supervisionada, originando um mapa temático do uso do solo de 1965 (Figura 10).

Devido ao fato da aerofoto possuir um alto grau de detalhamento, e ao fato de que neste trabalho o importante era separar áreas com agricultura das áreas de mata nativa, isto é, estudar a época que começou a exploração agrícola em cada área dentro da PBHR, considerou-se apenas três classes (agricultura, potreiro e mata nativa) na classificação da área. De acordo com esta classificação, a área da PBHR em 1965 era constituída de: 1) 75,0% de agricultura; 2) 9,5% de potreiro e 3) 15,5% de mata nativa.

De acordo com a Figura 10 verifica-se que no ano de 1965, na maioria das margens dos arroios, já não havia mais mata ciliar, sendo que, os resquícios de mata nativa que ainda existiam na região da PBHR eram localizados nas áreas mais pedregosas e com relevo mais acidentado, onde a exploração agrícola, devido a estes fatores naturais, era muito difícil. Verificase também que as áreas de potreiro eram localizadas próximas às residências, onde se mantinha a criação de animais para consumo da própria família e para tração na lavoura, sendo que, estas áreas continuam até hoje sob mesmo uso. As áreas de lavoura em 1965 constituíam a maioria do uso do solo da PBHR, isto pode ser entendido pelo fato de ter iniciado o cultivo de fumo na área no

ano de, aproximadamente, 1961, o que deve ter estimulado os agricultores a ampliarem suas áreas agrícolas utilizando esta cultura.

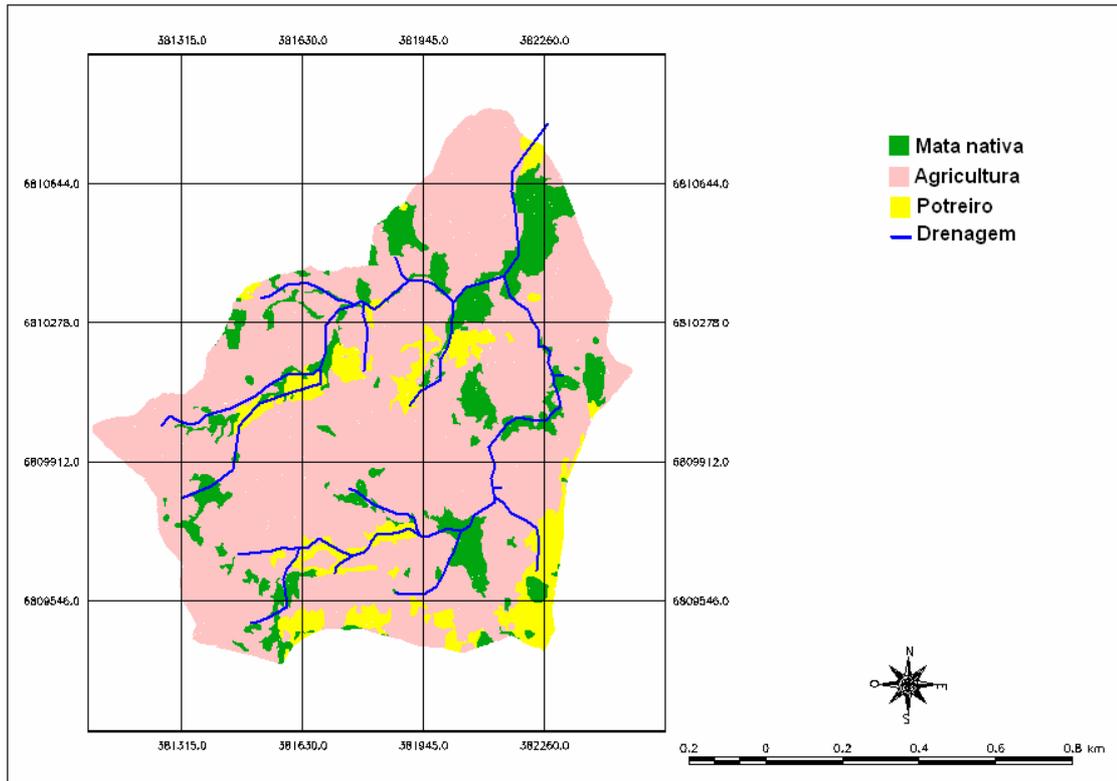


Figura.10. Mapa temático do uso do solo na PBHR em 1965, baseado no registro aerofotogramétrico de 1965.

Com a classificação da aerofoto de 1965 foi possível elaborar, de forma regressiva, a evolução do uso do solo de 10 em 10 anos até o ano de 1925 (Figura 12). Para isto, considerou-se um decréscimo linear da extensão das áreas ocupadas por mata nativa a partir de 1925 e, conseqüentemente, um crescimento linear das áreas agrícolas.

Conforme relatos de moradores antigos e dados de relatórios realizados na região da PBHR, a exploração agrícola começou em torno do ano de 1915, com a família que deu origem ao primeiro nome da localidade: Posse Vieira, e que era proprietária de uma área que englobava toda a PBHR. Logo após, em meados de 1918, chegaram mais duas famílias que iniciaram a exploração agrícola nas áreas próximas das estradas que existiam na época. Como já citado em Materiais e Métodos, foi considerado que no ano de 1925, 15% da área da PBHR já havia sido explorada, e a localização espacial do início da exploração pode ser verificada na Figura 11.

A evolução da expansão agrícola na PBHR (Figura 12) partiu das três primeiras áreas exploradas, considerando um crescimento linear das áreas de agricultura e, conseqüentemente, um decréscimo das áreas com mata nativa. Assumiu-se que as áreas de agricultura foram expandindo conforme proximidade de estradas e drenagem, declividade do terreno e tipo de solo, levando em consideração a lógica e as ações do próprio agricultor, informações estas que foram confirmadas pelos moradores antigos da PBHR.

A evolução do uso do solo na PBHR a partir do ano de 1965 foi executada com auxílio de imagens de satélite LANDSAT (sensores MSS de 1972 até 1983 e TM até a atualidade). Foram elaborados os mapas de 1985 e 2005 (de 20 em 20 anos) (Figura.13). Devido à falta de imagem do ano de 1985, o mapa temático deste ano foi feito tendo como base a classificação das imagens de setembro de 1973, janeiro de 1979 e agosto de 1981, levando-se em consideração o comportamento da evolução do uso do solo nestas datas e transportando-a até o ano de 1985. Nesta elaboração, também foi considerada a classificação realizada nas imagens de julho de 1994 e dezembro de 1995.

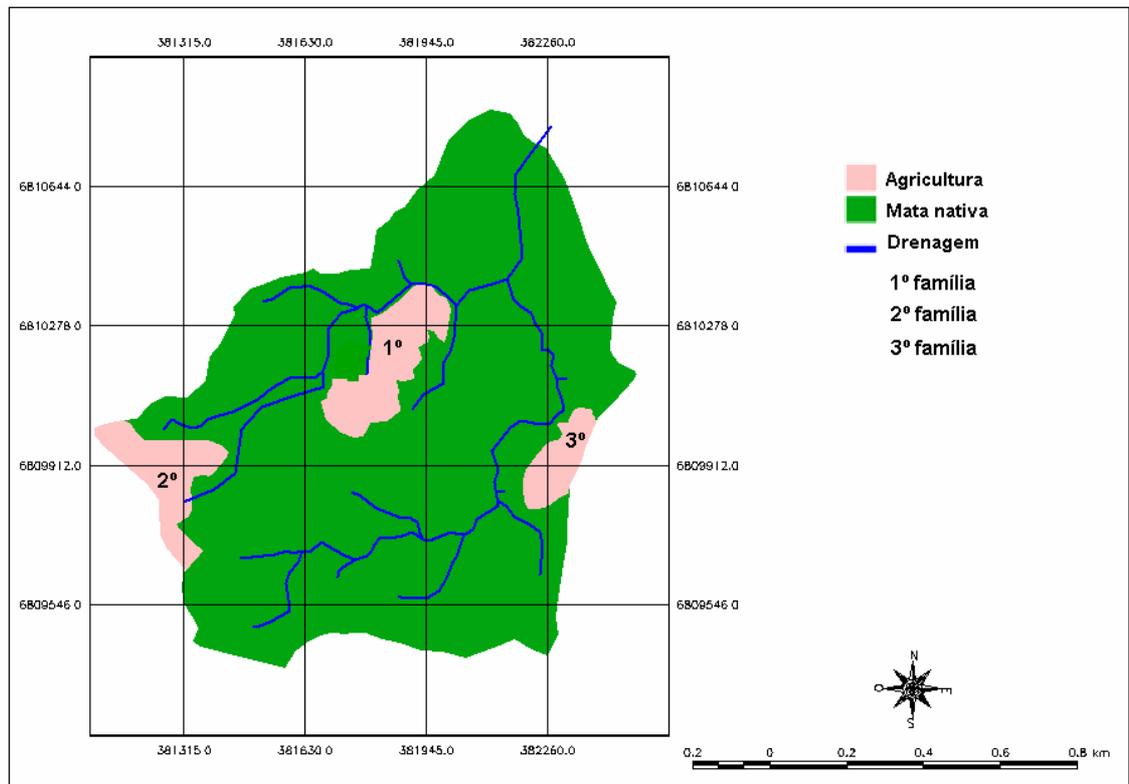


Figura 11. Uso do solo provável na PBHR no ano de 1925.

O mapa temático de 2005 foi elaborado levando-se em consideração um mapa base realizado na área com auxílio de um GPS (*Global*

Positioning System), a classificação de imagens LANDSAT de janeiro e fevereiro de 2005, e uma imagem *Quick Bird* datada de maio de 2003. Apenas com o objetivo de se ter uma noção do comportamento da evolução do uso do solo de 1985 até 2005, foi feita a classificação das imagens LANDSAT de julho de 1994 e dezembro de 1995, as quais não serão apresentadas neste trabalho.

Conforme visto nas Figuras 12 e 13 e na Tabela 11, diminuíram as áreas de agricultura, quando comparada às áreas com agricultura no ano de 1965, e aumentaram as áreas com mata nativa. Isto é explicado pelo fato de se ter iniciado a prática de reflorestamento na região em meados de 1980, sendo assim, estas áreas durante a classificação do uso foram consideradas dentro da classe de mata nativa, por ser um uso do solo irrelevante para este trabalho, que objetivou o estudo do tempo de lavoura nas diferentes áreas da PBHR.

Nota-se na Tabela 11 que as áreas de potreiro (que se localizam acerca das residências) vão aumentando ao longo do tempo, sendo este crescimento concordante com a chegada das novas famílias de agricultores na área da PBHR. Este crescimento chega à estabilização em meados de 1965 quando houve o máximo de exploração agrícola da região. A partir desta data as residências e as lavouras apenas mudaram de dono ou foram divididas entre parentes, mas continuaram, praticamente, no mesmo lugar (Figuras 12 e 13).

Tabela 11. Evolução quantitativa do uso do solo na PBHR nos anos de 1925, 1935, 1945, 1965, 1985 e 2005

| Ano | Agricultura (%) | Mata nativa (%) | Potreiro (%) |
|------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 1925 | 15,0 | 83,8 | 1,2 |
| 1935 | 30,0 | 66,9 | 3,1 |
| 1945 | 45,0 | 51,2 | 3,8 |
| 1955 | 60,0 | 33,8 | 6,2 |
| 1965 | 75,0 | 15,5 | 9,5 |
| 1985 | 68,9 | 21,6 | 9,5 |
| 2005 | 63,3 | 27,2 | 9,5 |

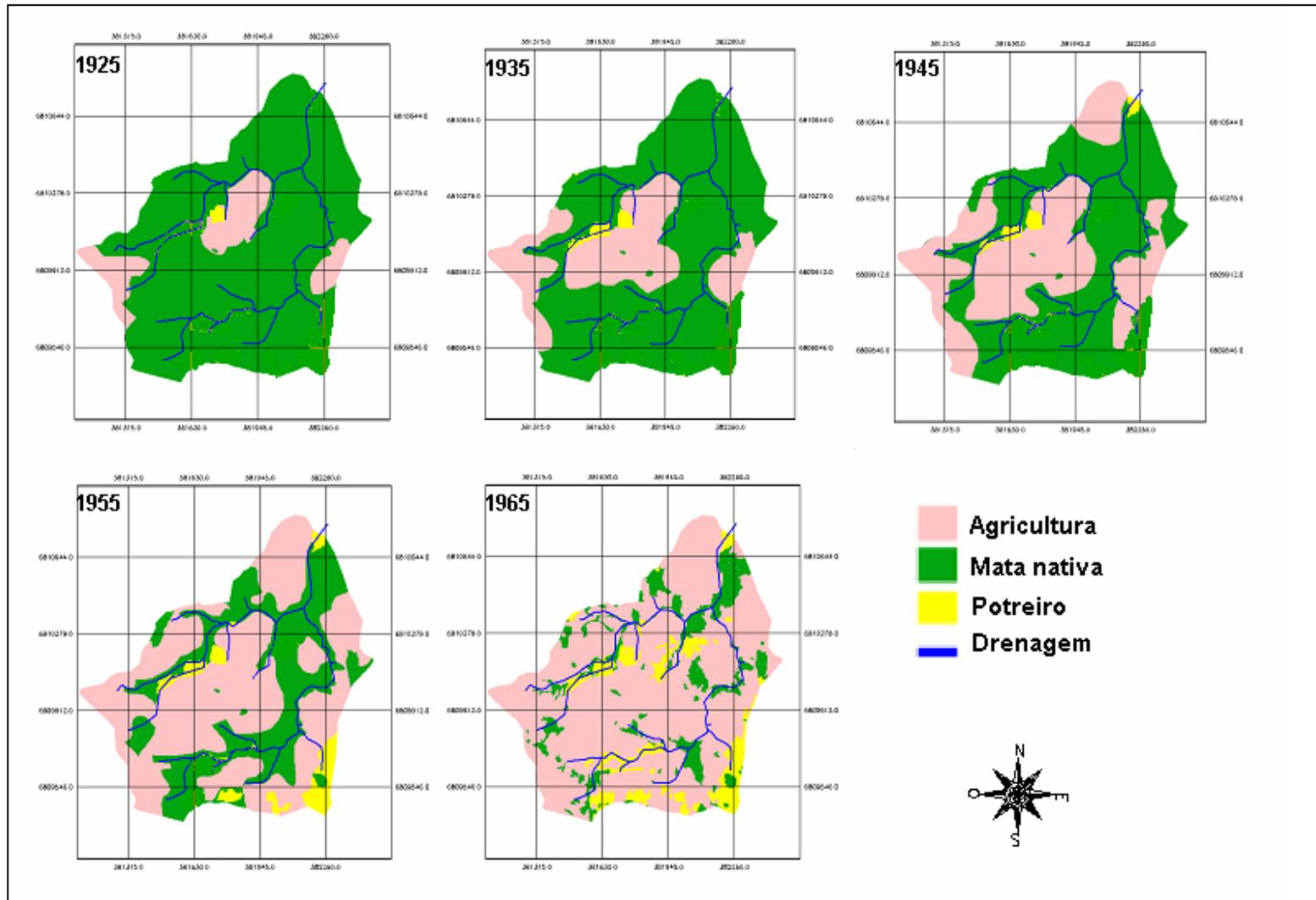


Figura 12. Estimativa da evolução do uso do solo na PBHR nos anos de 1925, 1935, 1945, 1955 e 1965.

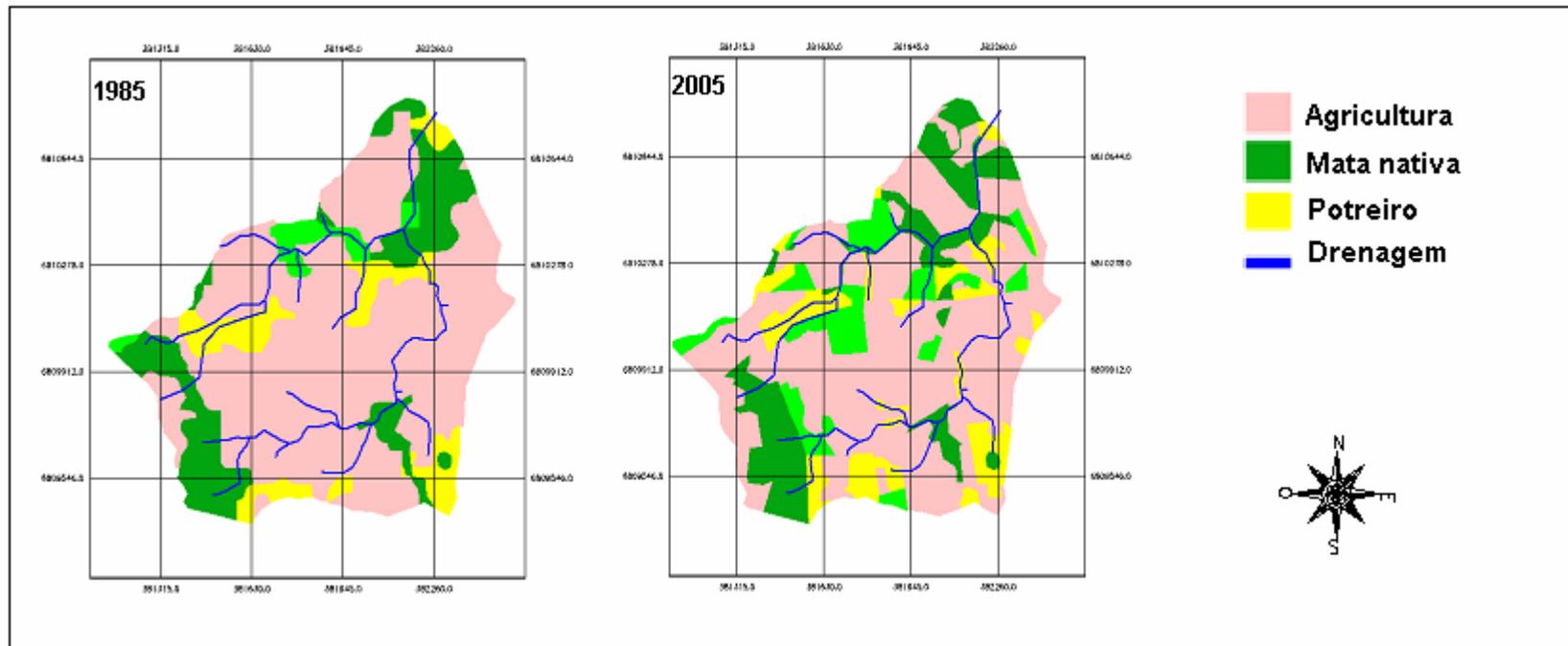


Figura 13. Estimativa da evolução do uso do solo na PBHR nos anos de 1985 e 2005.

6.3 Elaboração do mapa de tempo de uso agrícola dos solos da PBHR

Para este mapa foram ajustadas cinco classes de uso do solo, correspondente ao tempo de lavoura, isto é, o ano em que foi retirada a mata nativa e iniciado as atividades agrícolas. Adicionais a estas classes foram incluídas mais três classes: mata nativa, mata secundária e potreiro, que não foram considerados neste estudo (Figura 14).

Tomando-se por base o mapa da Figura 14 elaborou-se um gráfico (Figura 15) que mostra a evolução das áreas de agricultura que ocorreu entre os anos de 1925 até 2005. Verifica-se na Figura 15 que a maior expansão agrícola na área da bacia ocorreu entre dos anos de 1945 e 1965, fato que é confirmado pelos dados dos anuários agrícolas do IBGE para a região e pelos levantamentos realizados na bacia através de questionários aplicados aos agricultores. Este período também coincide com a introdução da cultura de fumo na bacia, que, segundo relatos de moradores antigos da área, ocorreu em meados de 1961.

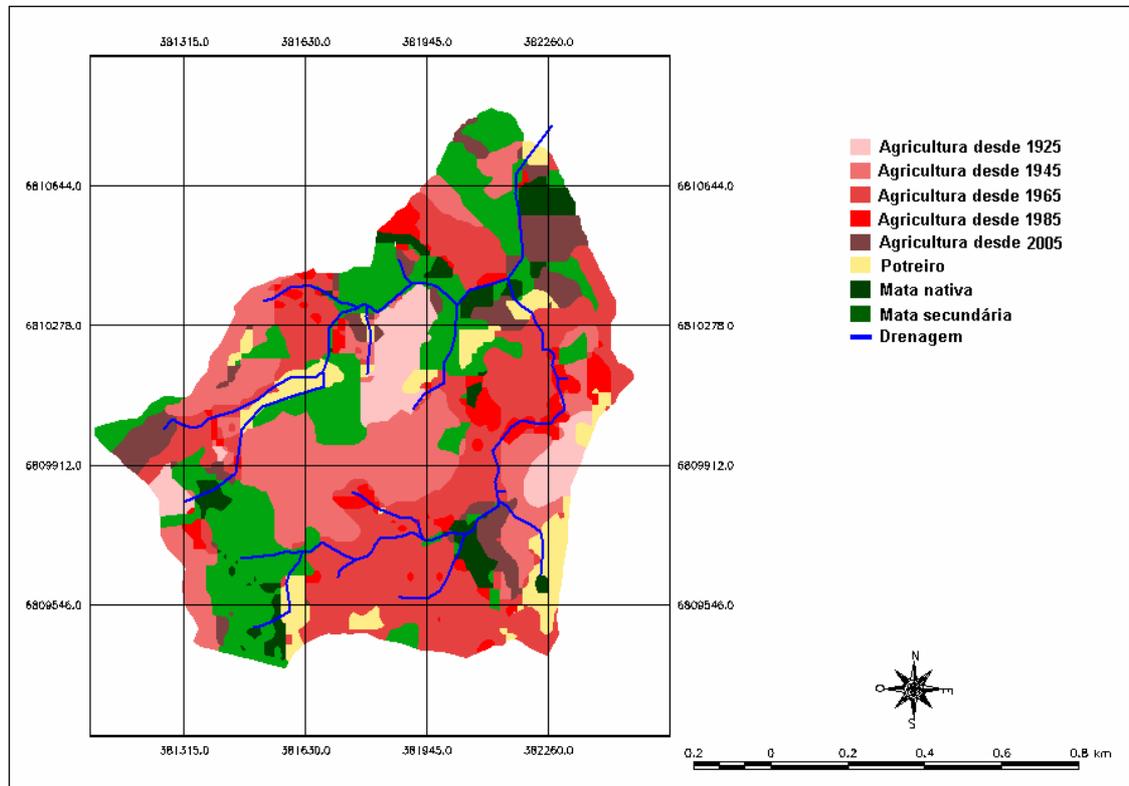


Figura 14. Evolução do uso do solo na PBHR, período de 1925 a 2005.

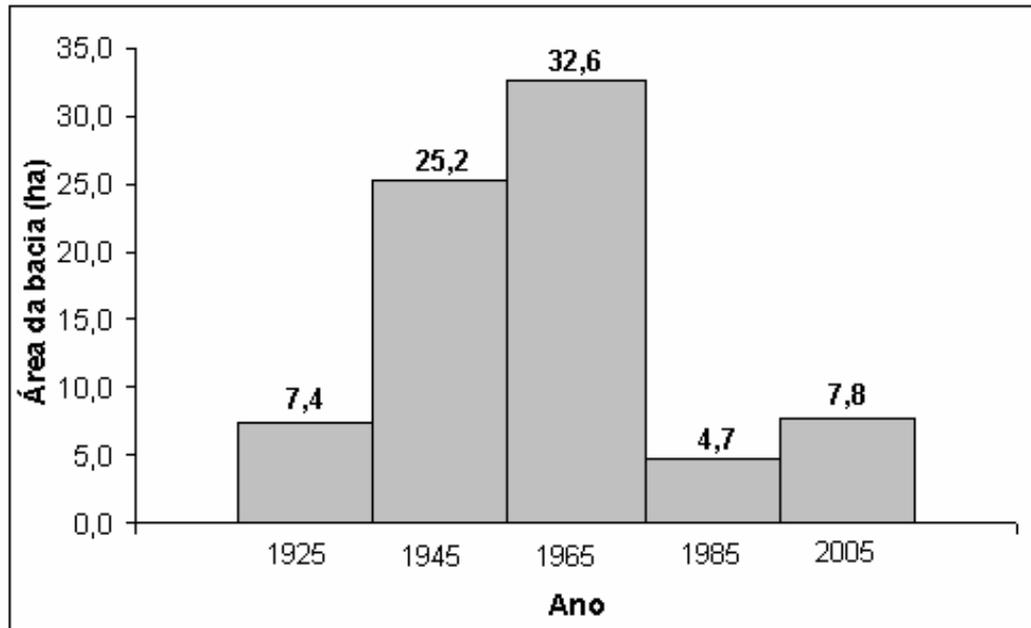


Figura 15. Área de lavouras novas na PBHR nos anos de 1925, 1945, 1965, 1985 e 2005.

Verifica-se na Figura 15 que as áreas agrícolas apresentam-se em constante crescimento até meados de 1965, quando ocorreu o máximo da expansão agrícola na região da PBHR. A partir de 1965, verifica-se uma grande queda das áreas novas com agricultura, isto pode ser explicado pelo fato de não haver mais tantas áreas novas para serem exploradas na PBHR. De 1985 a 2005 nota-se um crescimento das áreas novas com agricultura. Isto deve-se a influencia do aumento do preço do fumo pago ao agricultor, fato este que ocorreu na bacia no ano de 2003, e que ocasionou num aumento da área explorada com esta cultura (Figura 16). Com este propósito, foram também exploradas no ano de 2003 as áreas com pouca ou até sem aptidão para o uso agrícola (como as áreas sobre o Neossolo Regolítico distrófico típico), e as áreas que estavam em pousio há, aproximadamente, uns 10 anos.

A evolução mostrada na Figura 16 foi feita com base em dados coletados por caminhamento na PBHR e georreferenciados através de GPS de navegação, com uma exatidão de, aproximadamente, 30 metros.

As mudanças que ocorreram do ano de 2003 para o ano de 2004 foram relacionadas ao aumento das áreas de agricultura sob o sistema de cultivo mínimo de preparo do solo, que foi introduzido na área da PBHR no ano de 2003.

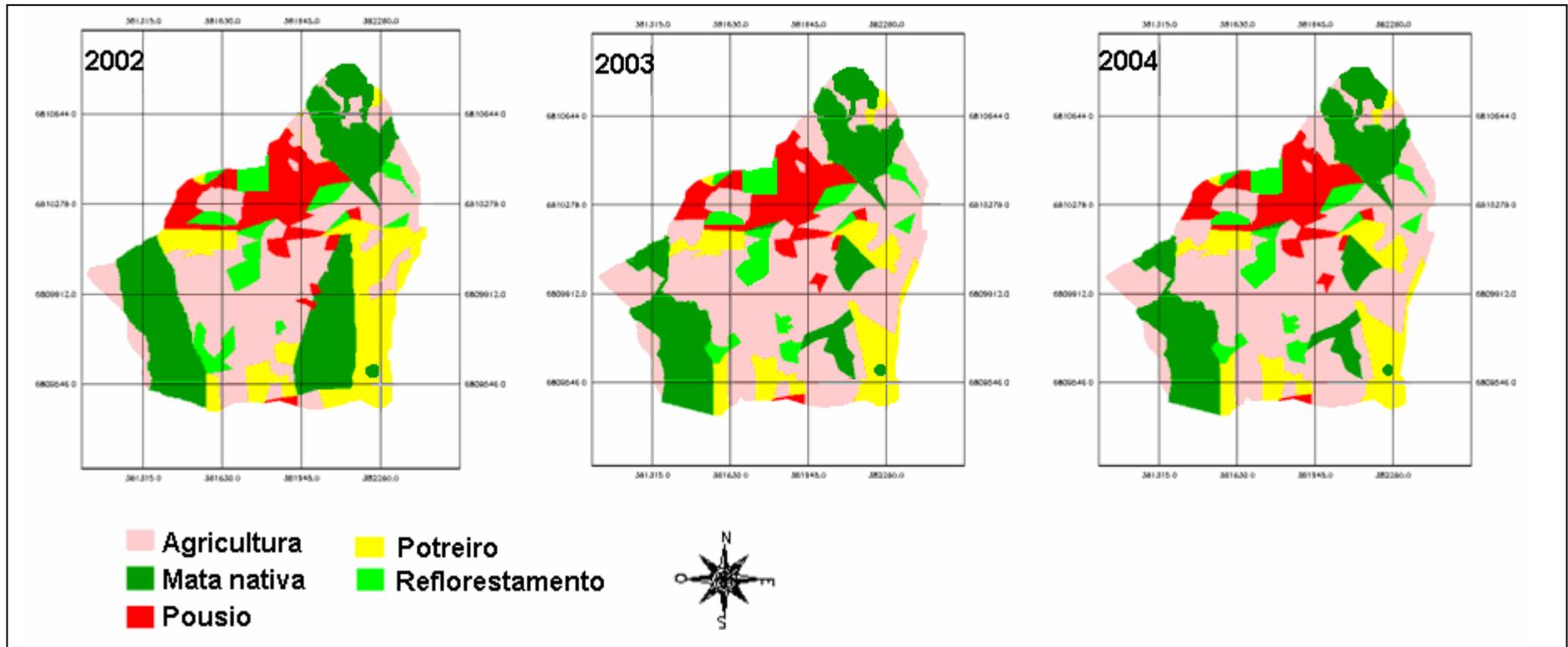


Figura 16. Alterações do uso do solo e das áreas agrícolas nos anos de 2002, 2003 e 2004 na PBHR.

6.4. Unidades de Simulação

Para a avaliação do comportamento do CO ao longo do tempo na PBHR, foram separadas áreas que fossem homogêneas nas características julgadas importantes para este trabalho, isto é, o tempo de uso do solo com lavoura e o tipo de solo. Estas áreas homogêneas denominaram-se unidades de simulação.

As 15 unidades de simulação (Figura 17) foram obtidas a partir do cruzamento do mapa temático da evolução do uso do solo com o mapa temático das Unidades de Mapeamento (UM) dos solos.

De acordo com o mapa das unidades de simulação (Figura 17) e a análise realizada nestas unidades (Figura 18) verifica-se que em 1925, dos 7,4 ha ocupados com lavoura, 70% encontravam-se sobre a UM 2 (composta pelos solos CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) e 30% sobre a UM 1 (formada pelos solos ACt1+CXvd+RRd). Com isto, pode-se concluir que a agricultura iniciou nas áreas menos declivosas, sendo que a região da UM 3, composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd, (mais declivosa e mais distante dos acessos e estradas da época) não havia ainda sido explorada com a agricultura.

O crescimento das áreas agrícolas entre os anos de 1925 e 1945 ocorreu, principalmente, nas áreas das UM 1 e isto pode ter sido devido à baixa declividade e a proximidade destas áreas às estradas existentes na PBHR.

Entre os anos de 1945 e 1965, ocorreu a maior expansão agrícola da região, que coincide com o início do cultivo de fumo. Este crescimento se deu sobre a área da UM 1, somado a um aumento da área sobre a UM 3 e sobre a UM 2.

A partir de 1965 até 1985, houve uma redução no crescimento das áreas agrícolas na região, fato este que é confirmado pelos dados dos anuários agrícolas do IBGE para a época. Na área sobre a UM 3 não houve expansão alguma nesta época, sendo que estas áreas, provavelmente, ficaram em pousio durante este período.

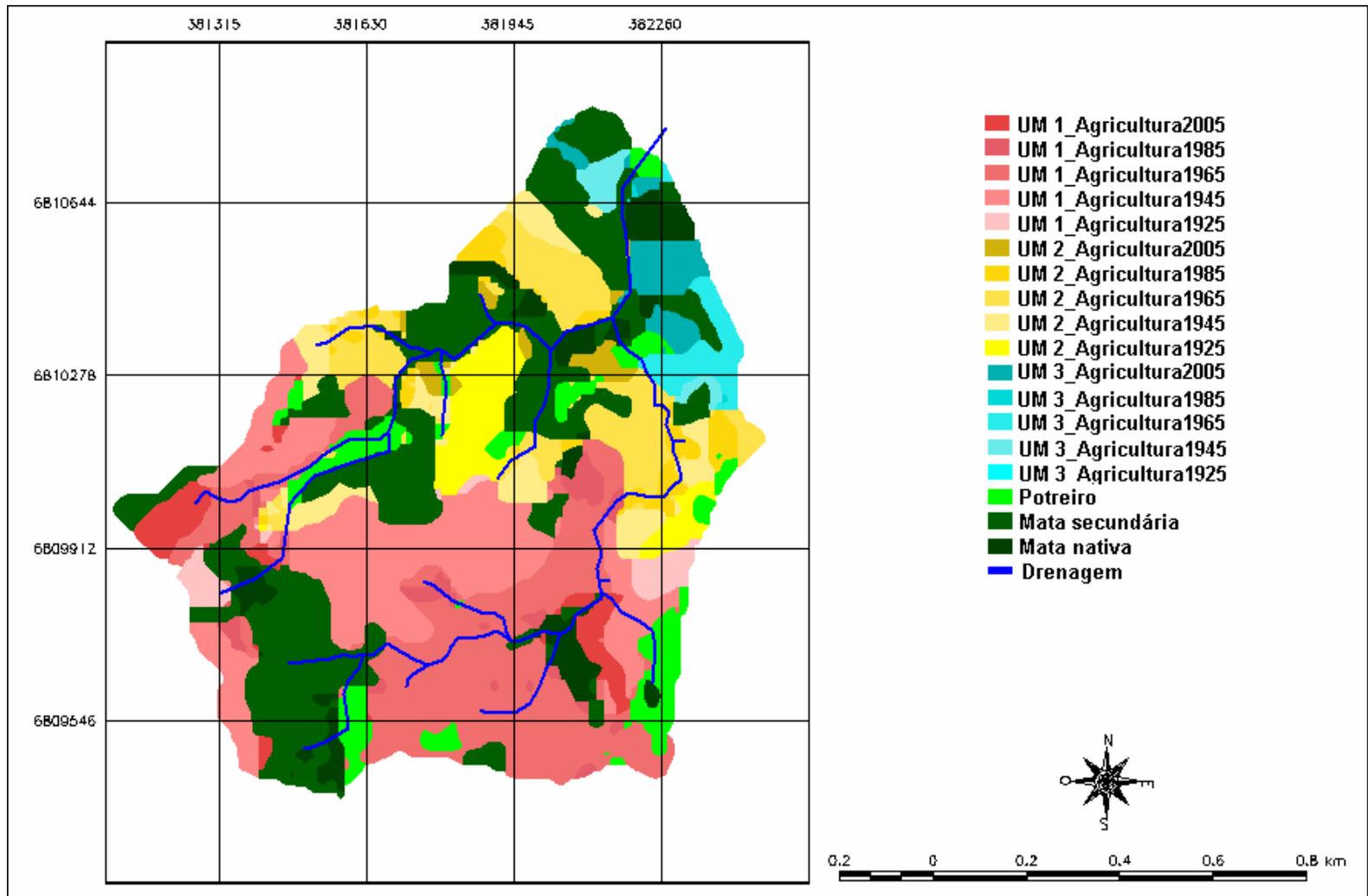


Figura 17. Representação espacial das unidades de simulação utilizadas nas simulações do modelo *Century*

De 1985 a 2005, os maiores crescimentos da área cultivada se deram sobre a UM 1 e a UM 3. Uma possível causa do menor crescimento das áreas sobre a UM 2, no período de 1985 a 2005, é o fato de não haver mais uma grande quantidade de área ainda sob vegetação nativa e sem exploração agrícola sobre este solo.

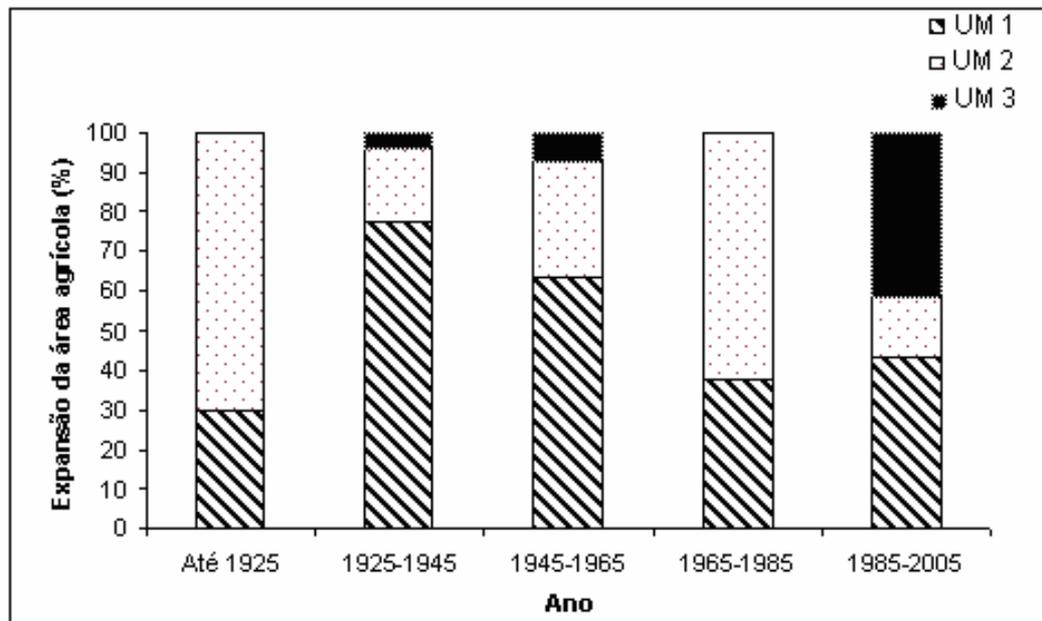


Figura 18. Expansão da área agrícola (%) nas três diferentes Unidades de Mapeamento (UM) de solo encontradas na bacia nos diferentes períodos de tempo.

6.5. Simulação dos estoques de CO nos solos da PBHR

As simulações realizadas nas 15 unidades de simulação (Figura 17) tiveram seu início de acordo com o começo da atividade agrícola, isto é, a época da retirada da vegetação nativa em cada unidade e, tiveram o seu fim no ano de 2005. Sendo assim, os resultados da quinta unidade de simulação de cada solo, a que corresponde às lavouras iniciadas no ano de 2005, não serão apresentados neste tópico por não apresentarem nenhum resultado relevante, devido ao fato de se ter executado a simulação para apenas um ano de cultivo.

A elaboração dos cenários de simulação foi feita de acordo com as tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 citadas em Materiais e Métodos.

6.5.1 Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 3 (UM 3)

As cinco unidades de simulação presentes sobre a UM 3 (composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd) partiram do teor de COT com valor de 61,1 Mg ha⁻¹. Este valor foi obtido através da parametrização do modelo *Century* com a rotação do equilíbrio.

Partindo de uma área de lavoura que iniciou a exploração no ano de 1925, o teor de COT neste solo, após 80 anos de cultivo intensivo, chegou a 24,6 Mg ha⁻¹, isto corresponde a apenas 40% do valor original de COT (Figura 19).

Nas áreas onde a exploração agrícola iniciou em 1945, com 60 anos de exploração, o teor de COT no solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, chegou a 28,1 Mg ha⁻¹, o que corresponde a 46% do teor original de COT. Este resultado é semelhante ao resultado obtido em um trabalho realizado pela UFSM (UFSM, 2001) na mesma PBHR, onde se verificou que, em uma propriedade localizada sobre Neossolo Regolítico distrófico típico, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, o teor de CO no solo sob o plantio convencional de fumo desde, aproximadamente, 1946, foi de 28,4 Mg ha⁻¹. Considerando os resultados das análises realizadas nos dados de COT do trabalho de Mello (2004), verifica-se que 80% do COS encontra-se na camada de 0 a 10 cm, com isso, extrapolando este resultado para os dados obtidos pela USFM (2001), o teor de COT encontrado na camada de 0 a 20 deste solo seria de 35,5 Mg ha⁻¹, o que continua próximo do valor obtido na simulação.

Segundo o resultado da simulação, nas lavouras iniciadas nos anos de 1965 e 1985, o teor de COT presente nestas áreas, foi de, respectivamente, 32,4 Mg ha⁻¹ (53% do valor original) e 39,8 Mg ha⁻¹ (65,1% do valor original).

Com estes resultados verifica-se que quando a exploração agrícola é mais recente, isto é, com menor tempo de exploração, o teor de COT presente no solo tende a ser mais elevado, porém, apresentando valores bem abaixo do valor original de COT sob vegetação nativa. As áreas sob mata nativa são consideradas de maior estabilidade, por serem mantidas sob vegetação natural por longo período de tempo, assim, apresentam tendência de estado estável entre as quantidades adicionadas e perdas dos teores de CO (Woodruff,

1949; Dalal & Mayer, 1986), mantendo conteúdo elevado deste elemento. Por outro lado, sob sistemas de exploração agrícola, as quantidades adicionadas são baixas enquanto que as quantidades perdidas são altas, ocasionado, assim, um desequilíbrio nas entradas e saídas de CO do sistema.

Verifica-se na Figura 19 que com a adição do pousio ao sistema (de 5 e de 10 anos), e conseqüentemente, com um desenvolvimento maior de plantas espontâneas (gramíneas e arbóreas) ao longo do tempo, ocorre um acúmulo de COT no solo, que é refletido nos “picos” de COT observados na Figura 19. Este acúmulo nos primeiros anos de pousio é devido a maior adição de biomassa ao sistema (Tabela 12) e a diminuição da perda de solo via erosão. Os valores de COT obtidos são altos, porém, sempre abaixo do valor original de COT. Quando se adiciona fumo ao sistema, que é uma cultura que possui baixa adição de resíduos (em torno de $0,72 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, determinado pelo modelo *Century*, quando cultivado sob sistema fumo-pousio), sem cultura de cobertura de inverno (pousio) a produção de biomassa sofre um decréscimo de aproximadamente 3,5 vezes quando comparada à produção com pousio durante 10 anos (Tabela 12). Esta diminuição causa um grande decaimento na quantidade de COT do solo, como pode ser visto na Figura 19. Este comportamento se repete com o passar dos anos e com a alternância dos 10 ou 5 anos de cultivo e dos 10 ou 5 anos de pousio, sendo que o acréscimo de COT ao solo vai se caracterizando por teores cada vez menores (Figura 19), devido a menor adição de biomassa ao sistema (Tabela 12). Comportamento semelhante é verificado nas unidades de simulação da UM 2 e UM 1 (Figuras 20 e 21).

Conforme os resultados obtidos nas simulações pelo modelo *Century*, e considerando, como já citado neste trabalho, que o COT é constituído por três compartimentos de solo (COA, COL e COP), a redução dos estoques de COT no solo ocorreu devido, principalmente, à redução do compartimento lento (COL). No caso da UM 3, nas lavouras iniciadas em 1925, a proporção do COL no COT diminuiu de 50,3% na situação de mata nativa para 33,6% na situação de PC fumo-aveia em 2005. Em lavouras iniciadas em 1945, este decréscimo foi de 39,2%. Já em lavouras iniciadas em 1965 e 1985, o decréscimo foi de 35,2% e 27,6%, respectivamente. Estes resultados são

coerentes com a afirmação de que as frações menos protegidas da MOS são as mais afetadas pelo manejo (Duxbury et al., 1989).

Tabela 12. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 3 obtidas através de simulação pelo modelo *Century*

| Sistema de culturas | Produção de biomassa (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹) |
|----------------------------|--|
| Trigo-milho (subsistência) | 8,9 |
| Pousio de 10 anos | 9,4 |
| Fumo - pousio | 2,7 |
| Pousio de 5 anos | 7,7 |
| Fumo-aveia | 3,8 |

De acordo com os resultados dos estudos realizados na mesma PBHR pela equipe da UFSM (UFSM, 2001), os tratamentos que receberam preparo convencional, caracterizado pelo freqüente revolvimento com aração e gradagem, apresentaram significativa redução no teor de carbono, como pôde ser constatado em uma propriedade onde houve uma redução de 59% no estoque de carbono orgânico, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, nas glebas lavradas em relação à área com mata natural.

Os resultados das simulações realizadas nas unidades de simulação sobre os solos das Unidades de Mapeamento: UM 3 (Figura 19), UM 2 (Figura 20) e UM 1 (Figura 21) mostram que o teor de COT, que vem de longos anos em equilíbrio sob a vegetação original nativa, logo após o corte e posterior fogo, aumenta rapidamente, originando o primeiro “pico” na quantidade de COT verificado nas Figuras 19, 20 e 21. Isto ocorre pelo fato de haver uma maior adição de biomassa ao sistema, através da deposição ao solo dos resíduos oriundos do corte dos troncos, galhos, folhas, etc. da vegetação nativa o que estimula a ação dos microrganismos presentes sob este solo, e conseqüentemente, aumenta o teor de COT (através do aumento do COA). O aumento é breve, e dura alguns anos, sendo que logo após há um decaimento do teor de COT do solo a valores mais baixos que o valor original de COT.

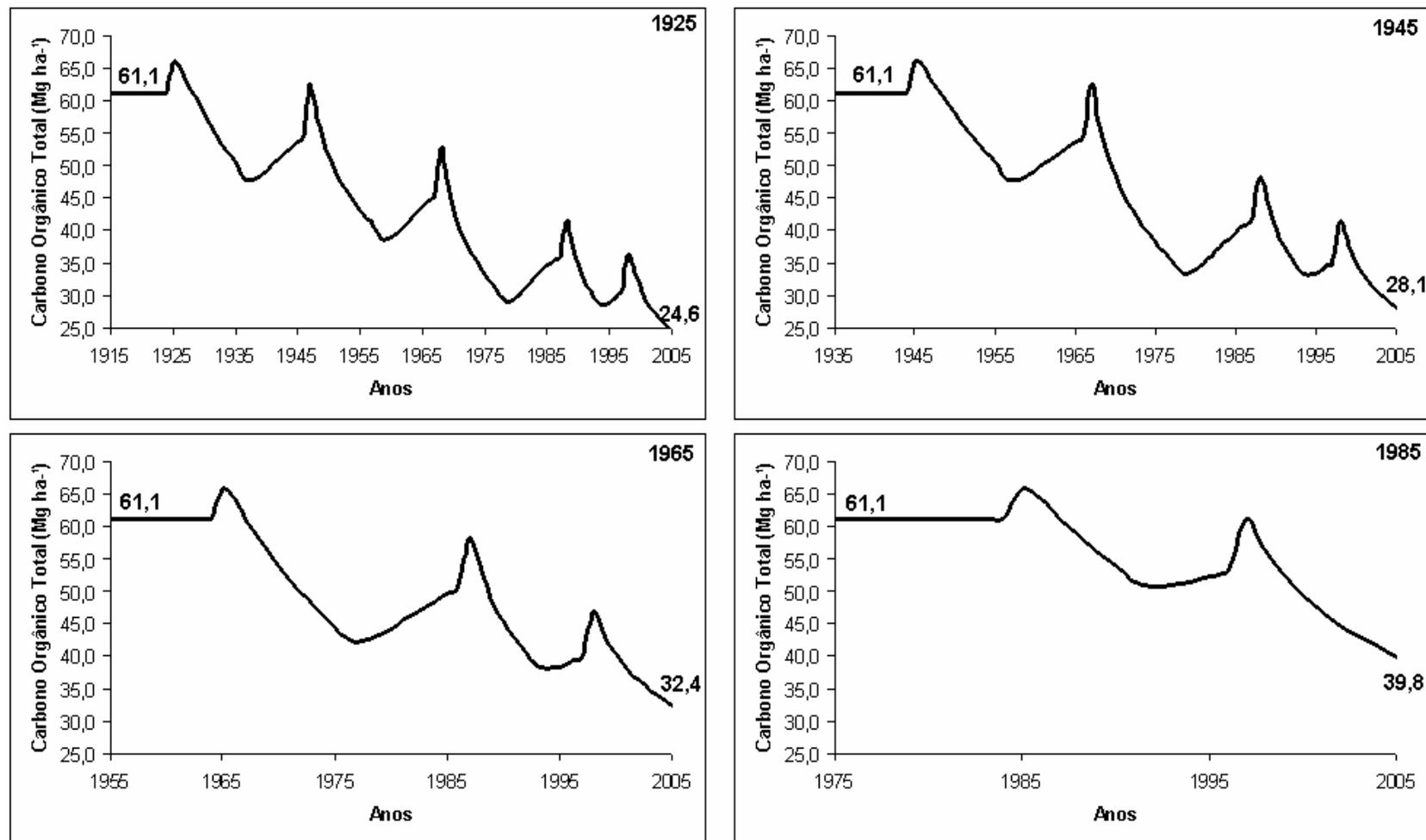


Figura 19. Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo *Century* na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 3.

Este comportamento, que corresponde ao que ocorre realmente no campo, é comprovado em outros trabalhos com o uso do modelo *Century* na simulação do COT (Debarba, 2002; Fernandes, 2002).

Considerando uma taxa média anual de perda de COT, verifica-se que as áreas de agricultura iniciadas em 1925 possuem uma taxa média de $0,46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de perda de COT, já as áreas mais recentes (1985 a 2005) possuem uma taxa média de $1,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Estes resultados confirmam a afirmação já feita neste trabalho de que a grande maioria do conteúdo de COT, segundo o modelo *Century*, encontra-se na camada superficial, a qual é primeiramente perdida no processo erosivo, sendo assim, maiores são as perdas de COT no início da exploração agrícola. Resultados semelhantes foram encontrados sob as UM 1 e 2.

De acordo com os resultados obtidos, para os solos da UM 3, as perdas de carbono são maiores quando comparadas às perdas sob os solos da UM 1 e UM 2, e isto ocorre por ser um solo bastante raso e presente em áreas bastante declivosas do terreno, apresentando, assim, elevada perda de solo nestas regiões, estimadas pela EUPS em $25,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

6.5.2. Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 2 (UM 2)

As simulações sobre os solos da UM 2 (composta pelos solos CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) partiram do teor de $62,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COT oriundo da rodagem de equilíbrio para este solo.

Nas áreas iniciadas com lavouras no ano de 1925, com 80 anos de cultivo intensivo, o teor de COT estimado chegou em 2005 a $30,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, e isto corresponde a aproximadamente 48% do valor original de COT do solo (Figura 20).

Nas lavouras iniciadas em 1945, o teor de COT estimado chegou a $32,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, que equivale a aproximadamente 53% do teor original.

Já nas áreas inicialmente exploradas nos anos 1965 e 1985 apresentaram na simulação valores de $36,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (58,9% do valor original) e $43,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (70% do valor original), respectivamente.

Comparando os resultados obtidos pelas simulações (Figura 20) com os resultados obtidos pelas amostras de solo que foram submetidas à análise em laboratório, de uma área sob as mesmas condições de solo (Cambissolo Háplico Ta distrófico típico), de sistemas de culturas e de preparo do solo (Mello, 2004), verificou-se que, na simulação do cenário com agricultura desde 1965, isto é, 40 anos de cultivo, obteve-se um valor de $36,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COT na camada de 0 a 20 cm de profundidade, já o resultado obtido nas análises de solo foi de $30,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, na camada de 0 a 20 cm. Na simulação de lavouras iniciadas em 1985, obteve-se um valor de $43,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor este que ficou acima do valor obtido na análise do solo em laboratório, que foi de $29,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. O resultado da simulação do cenário de lavoura iniciada recentemente, com apenas um ano sob cultivo mínimo, foi de $63,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo este valor maior do que o valor obtido na análise em laboratório, que foi de $48,3 \text{ Mg ha}^{-1}$. Estes resultados mostram que o modelo *Century* tende a superestimar as perdas de carbono do solo quando comparado com os dados obtidos a campo.

De acordo com a Tabela 13, verifica-se com a introdução do pousio, ocorre um aumento de COT no solo quando comparado aos valores obtidos sob as culturas de subsistência, o que é proporcionado pela maior adição de biomassa, através das plantas espontâneas e gramíneas, e a maior cobertura do solo, que diminui a perda de solo por erosão. Quando se adiciona o cultivo de fumo-pousio ao sistema, há um grande decaimento de COT no solo (Figura 20), pelo fato de haver uma diminuição de até 3,5 vezes na produção de resíduos sobre o solo (Tabela 13).

Verifica-se na Tabela 13 que com a adição de cobertura de inverno, no caso a aveia, aumenta a produção de biomassa em até 1,5 vezes, quando comparado ao sistema fumo-pousio. Este aumento, que já era esperado, é devido a maior produção de resíduos com a introdução da cultura de inverno, a qual utiliza o efeito residual da adubação do fumo. Além disto, com o uso de uma cobertura de inverno, as perdas via erosão tendem a diminuir, influenciando na maior adição de biomassa no solo.

A redução dos estoques de COT no solo, conforme o modelo *Century* ocorreu principalmente através da redução do compartimento lento (COL), que é a fração menos protegida da MOS (Duxbury et al., 1989). O COL do COT do solo diminuiu de 50,3% na condição de mata nativa para 33,7% na

condição de PC em lavoura desde 1925; 30,8% em lavoura desde 1945; 32,3% em lavoura desde 1965 e 37,4% em lavoura desde 1985.

Tabela 13. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 2 obtidas através de simulação pelo modelo *Century*

| Sistema de culturas | Produção de biomassa (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹) |
|----------------------------|--|
| Trigo-milho (subsistência) | 8,9 |
| Pousio de 10 anos | 9,4 |
| Fumo - pousio | 2,7 |
| Pousio de 5 anos | 7,7 |
| Fumo-aveia | 4,2 |

Segundo resultados do trabalho realizado na área da PBHR pela equipe na UFSM (UFSM, 2001), pôde-se verificar que a inclusão de cultura de cobertura de inverno em sistemas de rotação de culturas foi uma eficiente estratégia de manutenção/recuperação dos estoques de CO do solo. A inclusão da aveia em sucessão ao fumo, aumentou em 33% o estoque de CO presente na camada de 0 a 10 cm em comparação ao fumo em monocultivo, com baixa adição de resíduos (UFSM, 2001).

Como já citado em Materiais e Métodos, atribuiu-se para os solos da UM 2 (CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) um valor menor de perda de solo (18,7 Mg ha⁻¹), quando comparado ao valor atribuído aos solos da UM 3 (25,0 Mg ha⁻¹), pelo fato desse se localizar numa porção menos íngreme do terreno. Com isso, verifica-se nos resultados que os solos da UM 2 (Figura 20) apresentaram valores mais elevados de COT no solo quando comparado aos resultados obtidos nas simulações sobre os solos da UM 3 (Figura 19).

6.5.3. Unidades de simulação sobre os solos da Unidade de Mapeamento 1 (UM 1)

A partir da rodagem de equilíbrio, que originou 62,8 Mg ha⁻¹, foram feitas as simulações das unidades sobre os solos da UM 1, composta pelos

solos ACt1+CXvd+RRd. Nas lavouras mais antigas, iniciadas em 1925, o teor de COT presente no solo no ano de 2005 chegou, segundo a simulação, a 33,5 Mg ha⁻¹, o que corresponde a 53,3% do teor original deste solo (Figura 21).

Nas áreas iniciadas com lavouras nos anos de 1945, 1965 e 1985, chegou-se a teores de 35,6 Mg ha⁻¹ (56,7% do valor original), 38,7 Mg ha⁻¹ (61,6% do teor original) e 45,2 Mg ha⁻¹ (72% do teor original), respectivamente.

Verifica-se, segundo os resultados do modelo *Century*, que a fração mais atingida pelo decréscimo do COT dos solos da UM 1 ao longo do tempo é também o COL, por ser uma das frações menos protegida da MOS. O COL sofre uma diminuição de 50,3% na situação de mata nativa para 32,4% na situação de PC fumo-pousio em lavouras iniciadas em 1925; 29,1% em lavoura iniciadas em 1945; 32,6% em lavoura iniciadas em 1965 e 34,8% em lavoura iniciadas em 1985.

No trabalho realizado na área da PBHR sob o solo Alissolo Crômico argilúvico abráptico pela equipe na UFSM (UFSM, 2001), obteve-se, em uma lavoura que teve seu início de exploração agrícola em torno do ano de 1965, um teor de COT no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, de 48,1 Mg ha⁻¹. Extrapolando este resultado para a camada de 0 a 20 cm, o resultado obtido seria de, aproximadamente, 57,7 Mg ha⁻¹. Esta área, na época do estudo estava sob plantio convencional com a sucessão fumo-aveia. Comparando este resultado com o resultado obtido na simulação do cenário de lavoura iniciada em 1965, verifica-se um menor acúmulo de COT na situação da simulação (38,7 Mg ha⁻¹). Deve-se ressaltar que existem algumas incertezas ao se comparar os resultados das amostras da UFSM (2001) com os resultados da simulação, limitações que estão relacionadas com o real posicionamento dos locais de retirada das amostras dentro da propriedade, pelo fato destas amostras (UFSM, 2001) não terem sido georreferenciadas, não havendo assim, uma representação da variação espacial de COT no solo.

Comparadas com os outros solos, as áreas sobre os solos da UM 1 apresentam os maiores teores finais de COT, e isto é devido ao fato de ser uma UM formada por solos com maior teor de argila, o que propicia uma maior proteção física e química da MOS (Martin & Haider, 1986; Baldock & Skjemstad, 2000), além de estarem localizados na porção menos íngreme da PBHR, o que proporciona uma menor perda de solo por erosão.

Tabela 14. Produção de biomassa de diferentes coberturas vegetais adicionada aos solos da UM 1 obtidas através de simulação pelo modelo *Century*

| Sistema de culturas | Produção de biomassa (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹) |
|----------------------------|--|
| Trigo-milho (subsistência) | 8,9 |
| Pousio de 10 anos | 9,4 |
| Fumo - pousio | 2,8 |
| Pousio de 5 anos | 7,7 |
| Fumo-aveia | 4,5 |

Os resultados obtidos para os solos da UM 1, confirmam e reforçam os resultados já obtidos para os solos da UM 3 e UM 2, que se refere ao potencial do uso do pousio mais longo como uma estratégia de recuperação da qualidade do solo, devido à sua alta produção de biomassa e ao aumento do conteúdo de COT no solo proporcionado por este sistema. O pousio poderia ser retomado nas propriedades da PBHR através de um planejamento sustentável da mesma. Sabendo-se que as propriedades da região da bacia são pequenas, e considerando que o fumo é uma cultura rentável em pequenas propriedades, poderia-se utilizar o pousio através de um planejamento da área considerando a alternância das glebas de fumo dentro da propriedade com áreas com pousio mais longos.

Através da comparação dos resultados obtidos pelas simulações nos diferentes tipos de solos encontrados na PBHR e nos diferentes tempos de exploração agrícola, com os dados obtidos a campo e em laboratório (Mello, 2004; UFSM, 2001 e 2004), verifica-se que o modelo *Century* apresentou um desempenho esperado na simulação dos cenários de manejo atual do solo na PBHR, representando a dinâmica do COT do solo de forma semelhante da que é verificada a campo.

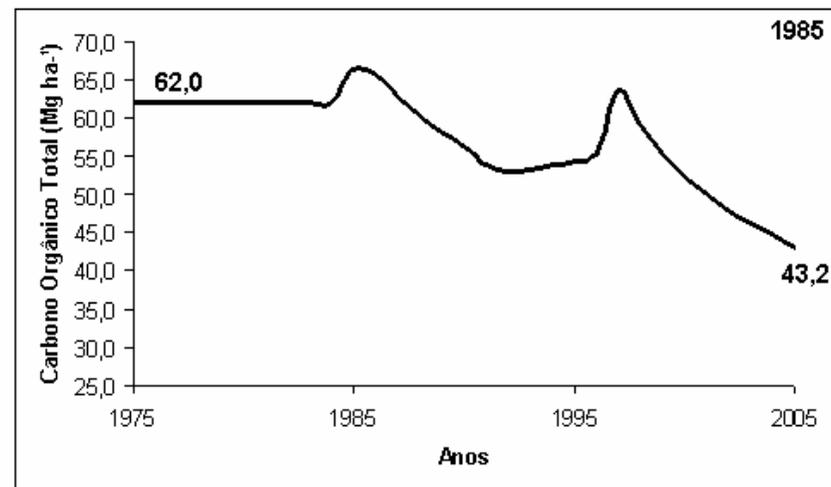
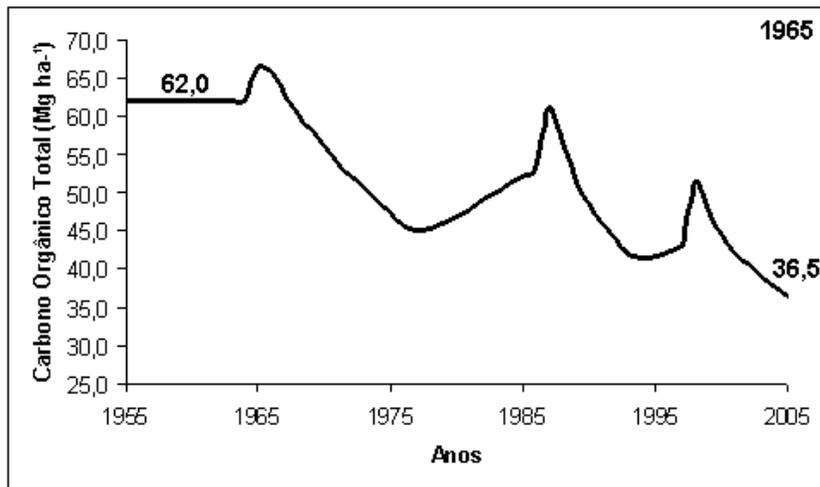
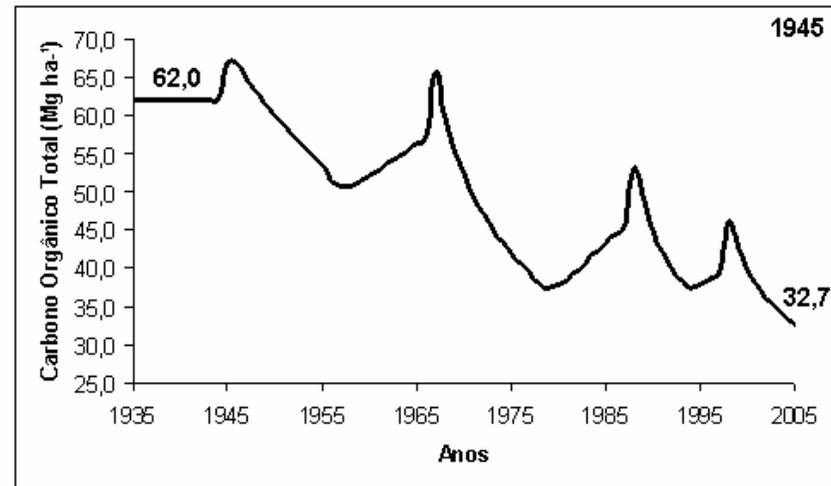
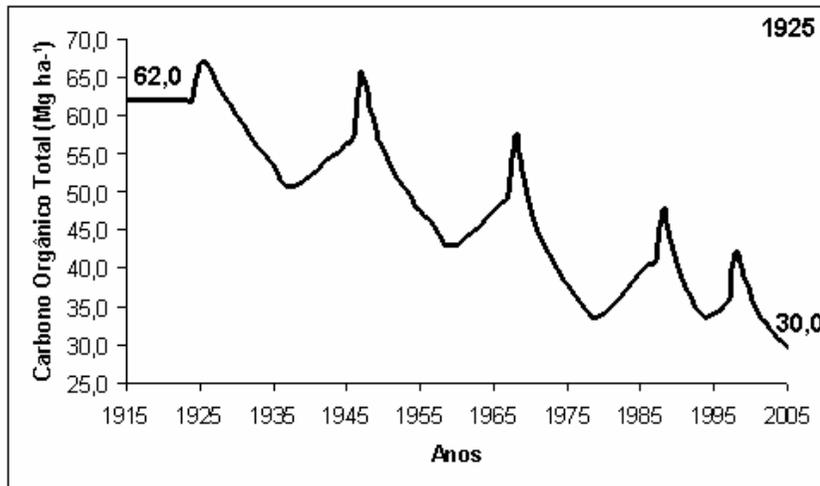


Figura 20. Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo *Century* na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 2.

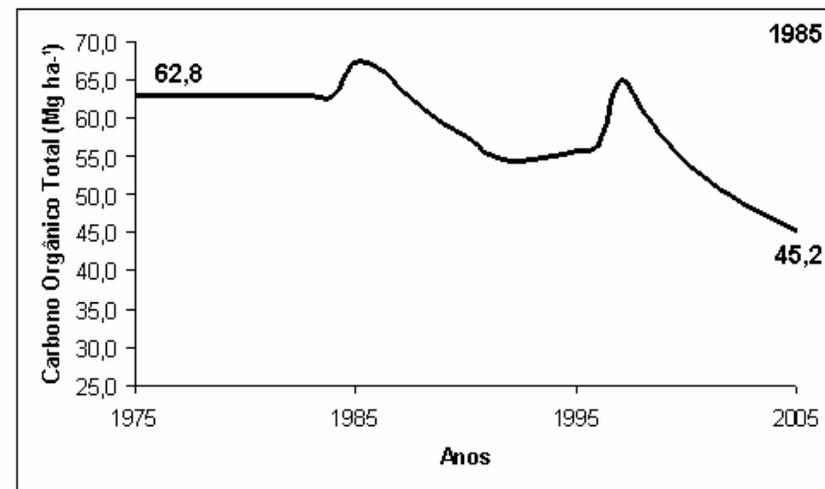
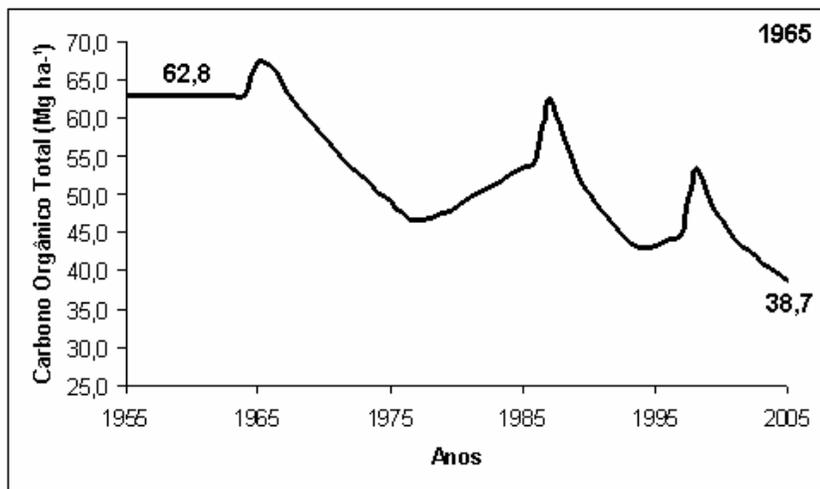
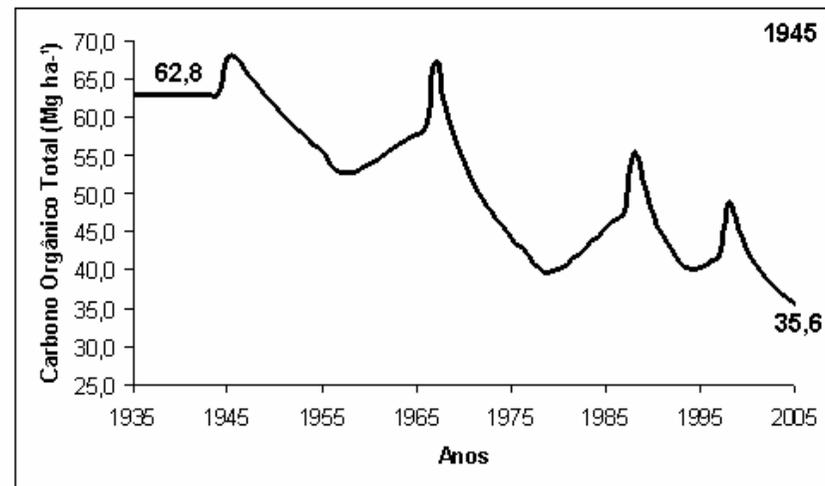
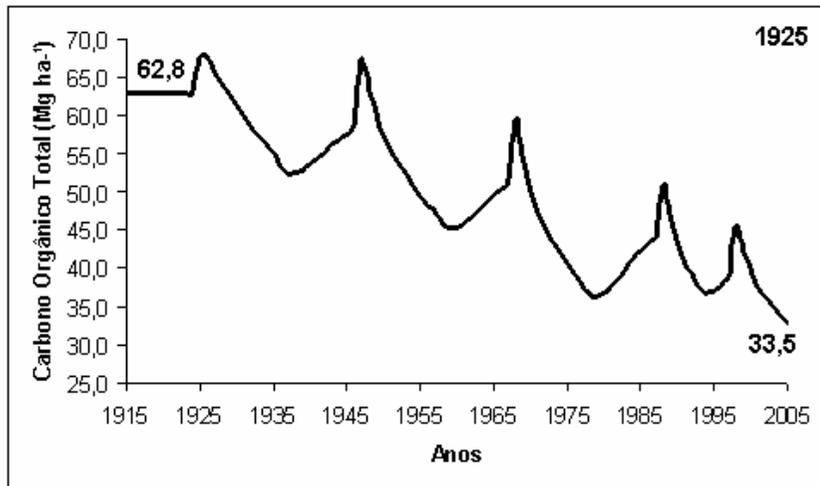


Figura 21. Carbono orgânico total do solo simulado pelo modelo *Century* na camada de 0-20cm para as quatro unidades de simulação sobre os solos da UM 1.

6.6. Evolução dos estoques de COT do solo: cenários futuros

A partir de dados das condições atuais parametrizados, os modelos de simulação de nutrientes permitem prognosticarem condições futuras de estoques de nutrientes no solo, se for mantido ou modificado o atual sistema de manejo e culturas adotado. Com isso, facilita estudos e auxilia na tomada de decisão de planejamentos sustentáveis de pequenas e grandes áreas ao longo do tempo.

O estudo da evolução dos estoques futuros de COT do solo da PBHR foi realizado utilizando dois caminhos distintos. Um caminho foi através da evolução dos estoques nas três diferentes Unidades de Mapeamento encontradas na PBHR, nas lavouras iniciadas no ano de 1925 até 2005, usando o mesmo sistema de preparo e de culturas utilizado nas unidades de simulação. A partir de 2005 até o ano de 2055, foram utilizados dois sistemas: cultivo mínimo sem rotação de culturas, utilizando a sucessão fumo-aveia; e cultivo mínimo com rotação de culturas, com fumo-aveia / milho-aveia. A escolha destes sistemas levou em consideração o sistema conservacionista mais difundido na PBHR atualmente, e que, segundo técnicos da EMATER/RS, será o sistema que provavelmente irá predominar nas áreas agrícolas da região futuramente.

Outro caminho realizado foi o estudo da evolução através das simulações utilizando três sistemas de preparo: o plantio convencional (PC), o cultivo mínimo (CM) e o plantio direto (PD). Estes sistemas foram escolhidos para verificar a influência não apenas das sucessões de culturas, mas também do sistema de preparo nos estoques de COT no solo. Todos os sistemas de preparo foram simulados considerando a sucessão fumo-aveia e a rotação de culturas: fumo-aveia / milho-aveia. Foi escolhido o sistema de rotação com milho por ser o sistema mais indicado para áreas com cultivo de fumo, devido à maior adição de biomassa ao solo e pelo aspecto fitossanitário que essa cultura oferece ao cultivo do fumo (Souza Cruz, 2005; Manah, 2000).

6.6.1. Evolução do teor futuro de COT do solo sob o sistema de cultivo mínimo sem rotação e com rotação de culturas nas três Unidades de Mapeamento de solos encontradas na PBHR

A fim de se verificar as diferenças no incremento de COT ao solo utilizando rotação de culturas, foi executada a simulação dos estoques futuros de COT sob o cultivo mínimo com a sucessão fumo-aveia e com a rotação fumo-aveia / milho-aveia.

Analisando os resultados da simulação sobre a UM 3 (composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd) (Figura 22), verifica-se que após 80 anos de cultivo intensivo, no ano de 2005 o teor de COT chegaria a 40% do valor original de COT do solo. A partir de 2005 até 2055 (50 anos de cultivo), se fosse mantido o cultivo mínimo sem rotação de culturas (Figura 22a), o teor de COT do solo chegaria em, aproximadamente, $19,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto é, 32,6% do valor original de COT, representando um decréscimo de 19,1% do teor de COT nestes 50 anos. Estes resultados mostram que mesmo com a adoção de um sistema conservacionista de preparo do solo continuariam ocorrendo perdas de COT, porém, em teores bem menores do que as perdas obtidas sob PC. Assim, considerando uma perda linear anual de COT, com a adoção de CM, obtém-se uma redução de 79,4% nas perdas de COT no final de 50 anos de cultivo, quando comparado ao sistema de PC. Esta redução, que seria verificada nas três Unidades de Mapeamento encontradas na PBHR, é devido às menores perdas de solo por erosão sob CM, que é consequência da diminuição do revolvimento do solo e da não exposição do solo no período de maior erosividade. Além disto, com a redução do revolvimento do solo, a produção vegetal tende a ser maior, adicionando assim, uma maior quantidade de biomassa ao sistema, passando de $3,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sob PC para $4,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sob CM.

Já, se fosse utilizado o cultivo mínimo com rotação de fumo-aveia / milho-aveia, o teor de COT no solo após 50 anos, tenderia ao valor de, aproximadamente, $21,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto é, 34,4% do valor original de COT do solo (Figura 22b). Verifica-se, com estes resultados, que com a adoção do CM com rotação de culturas há um menor decréscimo de COT original do solo quando comparado ao valor obtido sob CM sem rotação. Esta redução, segundo resultados das simulações, chegaria a 84,2%, e isto corresponde a teores 4,8%

menores que os obtidos na simulação sob CM com sucessão fumo-aveia. Esta menor perda é devido, principalmente, a maior produção de biomassa através da adição de milho ao sistema. Com isto, a produção de biomassa nos solos da UM 3 passaria de $4,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com a sucessão de fumo-aveia, para $4,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano com o cultivo de fumo-aveia e $7,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano com milho-aveia (representando o sistema de rotação de culturas).

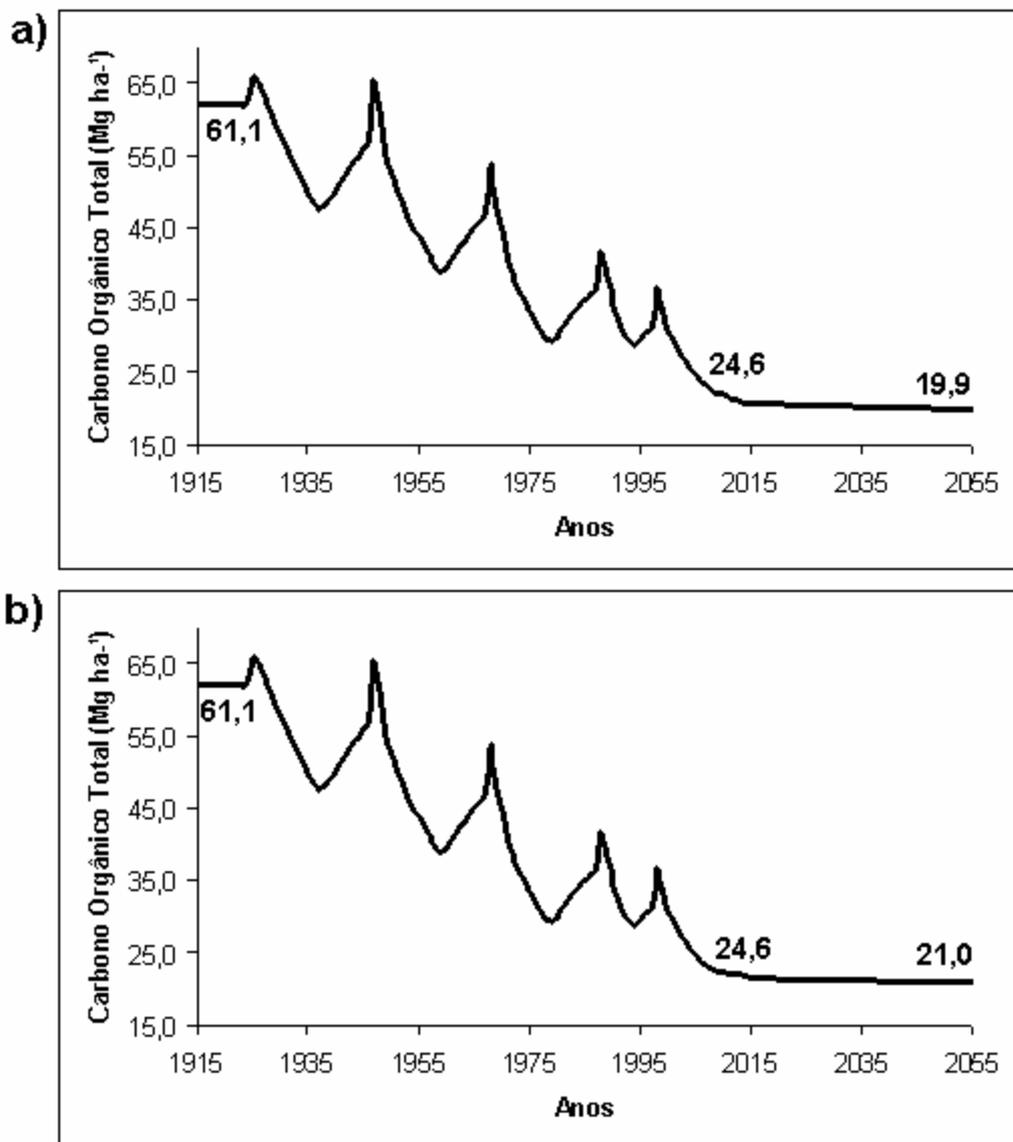


Figura 22. Simulação dos estoques futuros de COT dos solos da UM 3 sob cultivo mínimo sem rotação de culturas **(a)** e com rotação de culturas **(b)**.

Analisando os dois sistemas (CM com sucessão fumo-aveia e CM com rotação fumo-aveia / milho-aveia), verifica-se que em 50 anos de cultivo sob preparo conservacionista (2005 a 2055) as taxas anuais de perdas de COT diminuíram, como já era esperado, passando de $0,46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 80 anos

sob PC (1925 a 2005) para $0,09 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 50 anos de CM sem rotação e $0,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 50 anos sob CM com rotação. O mesmo comportamento foi também verificado sob os solos das UM 2 e 1.

Como já foi constatado neste trabalho, verifica-se que a diminuição do COT do solo é devido, principalmente, à redução do COL, sendo que este reduz, nos solos da UM 3, de 33,6% do COT na condição 80 anos de exploração agrícola (no ano de 2005) para 30,6% no sistema CM com a sucessão fumo-aveia e 26,2% no sistema CM com rotação fumo-aveia / milho-aveia (ano de 2055). Resultados semelhantes foram encontrados para os solos das UM 2 e 1.

Na simulação dos estoques futuros de COT sob a UM 2 (composta pelos solos CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) (Figura 23a) verifica-se que mantendo o sistema de cultivo mínimo sem rotação de culturas até o ano de 2055, o teor de COT chegaria a 39,5% do teor original verificado no ano de 1925. Sendo que, de 2005 para 2055, haveria um decréscimo de, aproximadamente, 18,3% no teor de COT. Com a adoção do CM sem rotação de culturas, segundo as simulações e considerando uma perda linear anual de COT, poderia se reduzir 70,1% as perdas de COT em 50 anos (quando comparado aos resultados obtidos sob PC fumo-aveia).

Se fosse utilizado o sistema de CM com rotação de culturas, o teor de COT presente neste solo no ano de 2055 seria de $26,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto é, 42,4% do valor original (Figura 23b). Com a adoção de CM com rotação, considerando uma perda linear anual de COT, as perdas reduziriam em 80,3% (no ano de 2055), representando uma redução de 10,2% nas perdas quando comparado ao sistema de CM sem rotação de culturas. Estas diferenças verificadas entre os sistemas sem rotação e com rotação são devidas, além da redução da perda de solo por erosão, à maior adição de biomassa com a introdução do milho ao sistema, que aumentou de $4,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no sistema CM sem rotação (fumo-aveia) para $5,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as culturas fumo-aveia e $8,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as culturas milho-aveia no sistema CM com rotação.

Verifica-se para todas as UM (Figuras 22, 23 e 24) que a partir do ano de 2005 não há mais “picos” de COT no solo, isto é devido ao fato de ter se extinguido na simulação a prática do pousio de 5 anos e de 10 anos, que

eram responsáveis por estes “picos” devido a maior adição de biomassa ao sistema, o que ocasionava, de tempos em tempos, a variação de COT no solo. A simulação do cultivo mínimo sem rotação de culturas sob a UM 1 (composta pelos solos ACt1+CXvd+RRd) (Figura 24a) apresentou um teor de COT no ano de 2055 de $28,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto representa 44,6% do teor original (mata nativa) e uma redução de 16,4% do teor de COT desde o ano de 2005 ($33,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Quando comparada ao sistema de PC fumo-aveia, a adoção de CM, segundo as simulações e considerando uma perda linear anual, reduziria 70% as perdas de COT do solo.

Se fosse utilizado o CM com rotação de culturas, o teor de COT chegaria em 2055 a $29,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 24b), e isto representa uma redução na diminuição das perdas de COT de 78,7% quando comparado aos 80 anos sob PC (até 2005) e considerando um decréscimo linear anual do COT. Esta redução comparada com CM sem rotação representa uma diminuição de 8,7% nas perdas de COT com a adoção de CM com rotação. Além da diminuição da perda de solo via erosão por causa do menor revolvimento do solo (CM), estes resultados também são devido à maior adição de biomassa com a introdução do milho ao sistema, que passou de $4,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no CM sem rotação para $5,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as culturas fumo-aveia e $8,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as culturas milho-aveia no sistema CM com rotação.

Verifica-se nestas simulações que mudando para o sistema de CM com e sem rotação, a diminuição das perdas de COT ao longo dos 50 anos (2005 a 2055), quando comparada ao sistema de PC, é maior sob os solos da UM 3 do que sob os solos da UM 1 e UM 2, havendo uma redução de 79,4% no CM sem rotação e 84,2% no CM com rotação. Com isso, verifica-se que a adoção de um sistema conservacionista de preparo do solo em regiões onde a perda de solo é bastante alta proporciona uma considerável redução nas perdas de COT do solo ao longo do tempo.

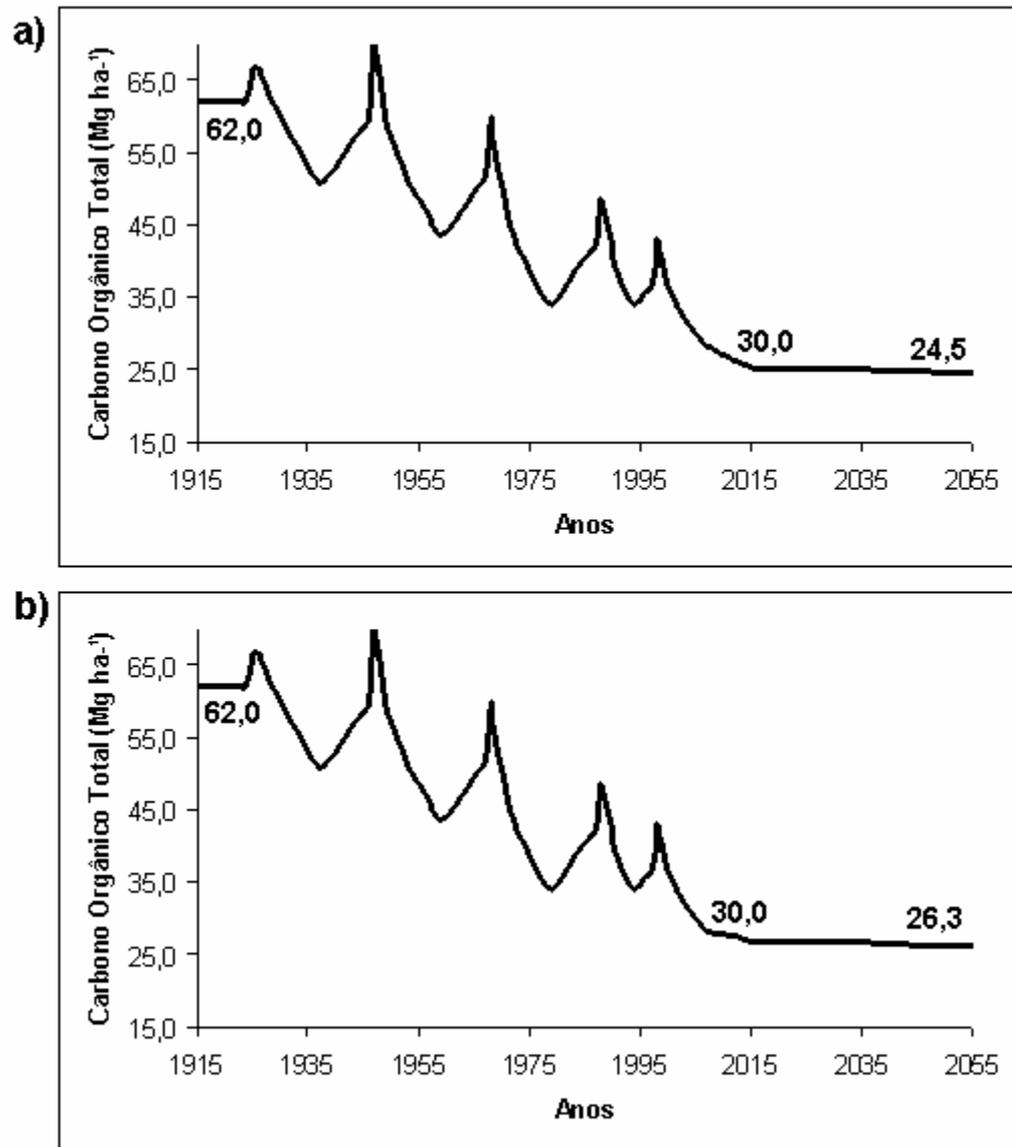


Figura 23. Simulação dos estoques futuros de COT dos solos da UM 2 sob cultivo mínimo sem rotação de culturas **(a)** e com rotação de culturas **(b)**.

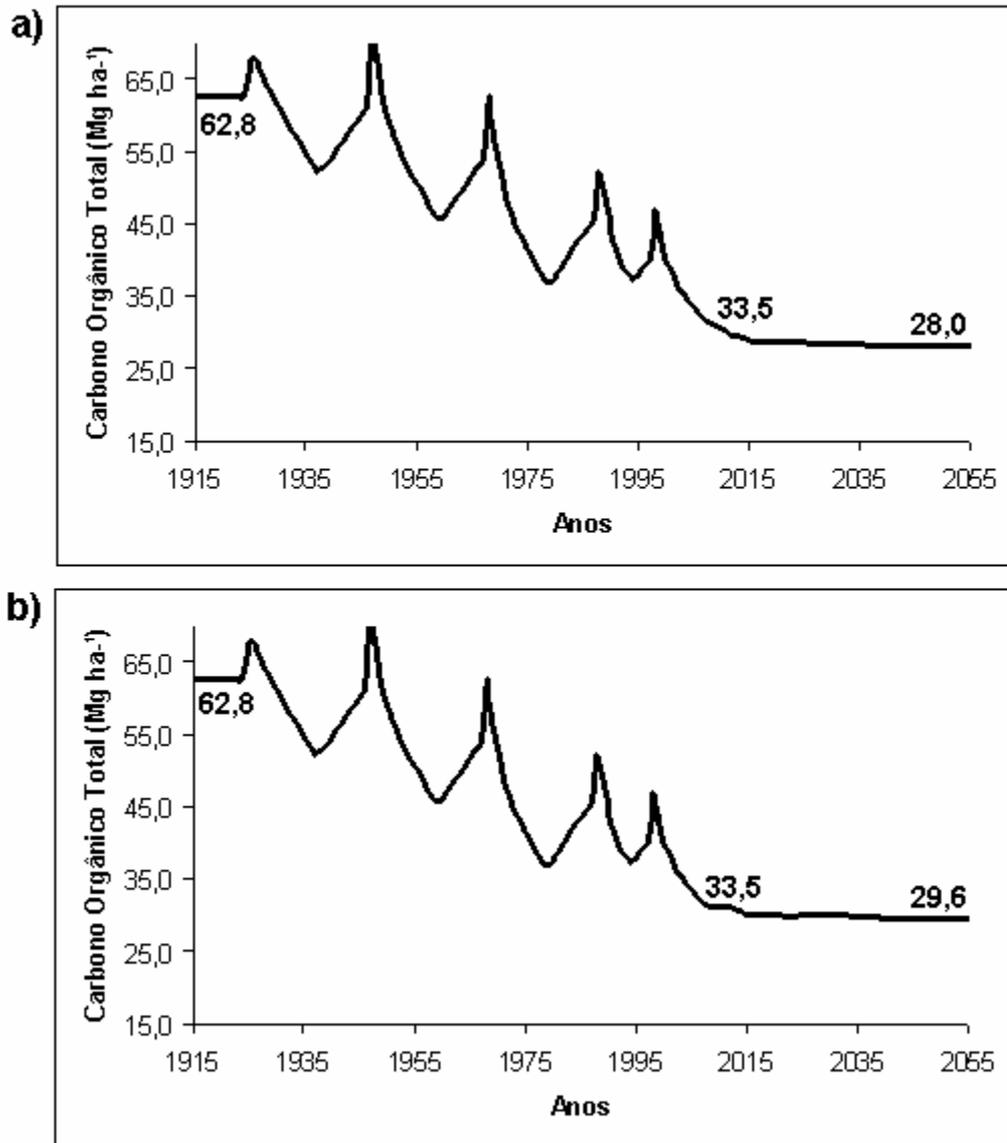


Figura 24. Simulação dos estoques futuros de COT dos solos da UM 1 sob cultivo mínimo sem rotação de culturas **(a)** e com rotação de culturas **(b)**.

6.6.2. Evolução dos estoques de COT no solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico sob diferentes sistemas de preparo do solo sem rotação e com rotação de culturas

A fim de verificar as diferenças nos teores de COT do solo, de acordo com os diferentes sistemas de preparo e diferentes coberturas, foi executada a simulação dos estoques futuros de COT para o solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico para o período de 1965 até 2055. Estas simulações foram executadas sob o solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico devido ao fato de ser o solo onde se possui resultados de análises de COT de uma área

monitorada para o trabalho de tese da aluna Nilvania A. de Mello (PPG-Ciência do Solo - UFRGS) (Mello, 2004) e que está sendo utilizada com lavoura desde o ano de 1965, isto é, com 40 anos de cultivo.

A simulação partiu da rodagem de equilíbrio, com o teor de COT de $62,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Os diferentes cenários de simulação foram simulados com os mesmos eventos de manejo desde 1965 até o ano de 2005. Os sistemas de preparo do solo e sistemas de culturas utilizados na simulação foram semelhantes aos utilizados realmente na área até esta data, que foram: 1965 a 1975: plantio convencional (PC) de fumo-pousio; 1975 a 1985: pousio; 1986 a 1990: PC fumo-pousio; 1991 a 1995: pousio; 1996 a 2000: PC fumo-pousio; 2001 a 2005: PC fumo-aveia. Conseqüentemente, por ter sido utilizado os mesmos eventos de manejo nos diferentes cenários durante este período de simulação, as perdas de COT encontradas foram de mesma magnitude.

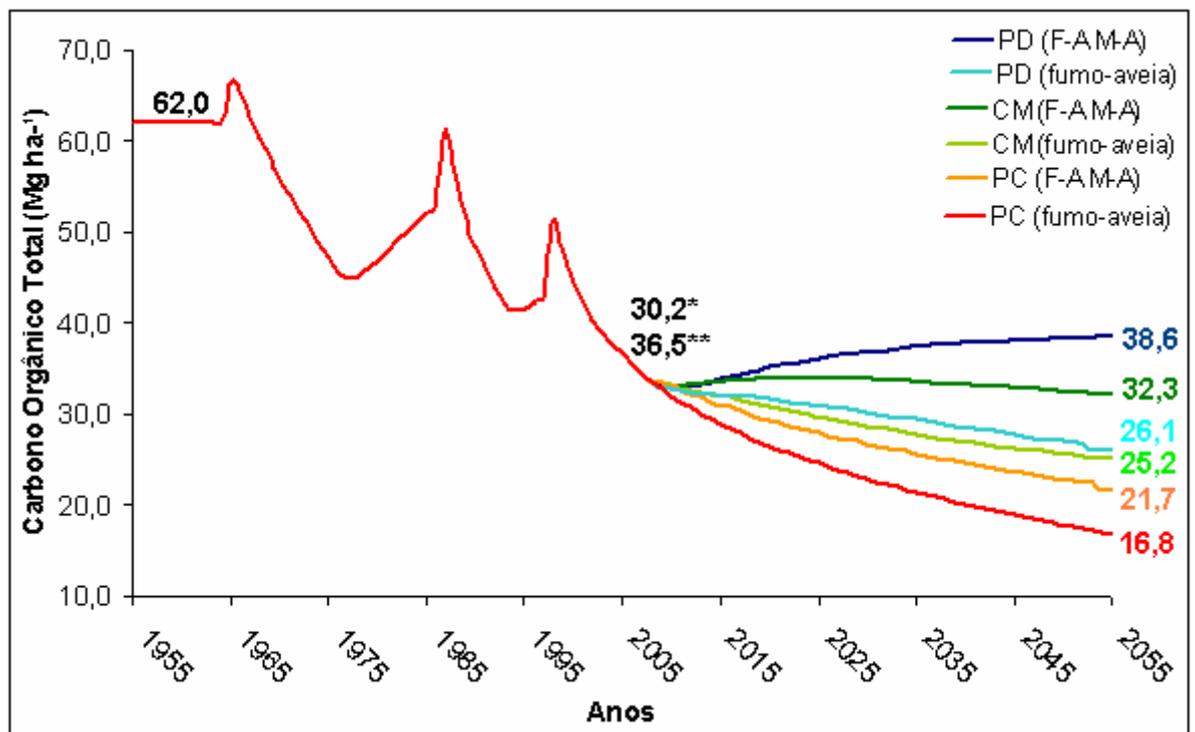
A partir de 2005, foram realizadas simulações até o ano de 2055 (para os próximos 50 anos), utilizando as seguintes condições: se mantivesse o PC; se mudasse para PC com rotação de culturas (fumo-aveia e milho-aveia); se utilizasse o CM sem rotação de culturas (fumo-aveia); se passasse para CM com rotação de culturas (fumo-aveia e milho-aveia); se mudasse para o plantio direto (PD) sem rotação (fumo-aveia) e com rotação de culturas (fumo-aveia e milho-aveia) (Figura 25).

Analisando os resultados (Figura 25), verifica-se que, nos primeiros anos de agricultura, o modelo estimou um ligeiro aumento no conteúdo de CO do solo, passando de $62,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $65,8 \text{ Mg ha}^{-1}$. Este aumento, como já explicado anteriormente neste trabalho, esteve associado à decomposição do material orgânico proveniente dos compartimentos mortos da floresta, após os eventos de corte e queima.

Após o aumento inicial de CO nos primeiros anos de simulação, o modelo estimou o decréscimo no conteúdo de CO do solo para $36,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ no ano de 2005, e isto corresponde a aproximadamente 59% do teor original de COT presente no solo em 1965 (Figura 25). Já, o valor obtido nas análises do solo da área da lavoura de 40 anos foi de $30,2 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Se o PC sem rotação de culturas (fumo-aveia) fosse mantido pelos próximos 50 anos, segundo o resultado da simulação, o teor de COT poderia cair para $16,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponderia a apenas 27,1% do teor original de

COT do solo (Figura 25). Este teor representa um decréscimo de até 3,7 vezes no valor de COT em 90 anos de cultivo (de 1965 até 2055). Este cenário englobou o uso de sistemas de culturas com baixa adição de fitomassa (parte área + raízes), sendo esta adição, segundo o modelo *Century*, em torno de 4,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e alto revolvimento do solo (PC).



* valor oriundo de análise de solo da lavoura de 40 anos (Mello, 2004)

** valor oriundo da simulação para a área de lavoura de 40 anos

Figura 25. COT do solo simulado pelo Modelo *Century* na camada de 0 a 20 cm para área do solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico, para diferentes sistemas de preparo do solo, sem rotação e com rotação de culturas.

Avaliando a dinâmica da MO em áreas com agricultura convencional no Canadá durante 80 anos, Pennock et al. (1994) observaram que a mineralização foi o principal responsável pelas maiores perdas de CO durante os primeiros 22 anos de cultivo, enquanto que no período seguinte, a erosão foi o processo mais importante. Com base nestes resultados, Pennock & Frick (2001) testaram o modelo *Century* e verificaram que o mesmo simulou corretamente a variação do teor CO do solo e a participação destes processos

sobre as perdas de CO. Este comportamento é explicado pela presença de frações orgânicas com diferentes graus de estabilidade e/ou proteção à decomposição no solo. Sendo assim, logo após a alteração da vegetação nativa para o sistema agrícola (com baixa adição de biomassa e revolvimento do solo), ocorre uma rápida decomposição da fração lábil da MO. As frações orgânicas sofrem também grande influência do preparo convencional, que através do revolvimento do solo, provoca a ruptura dos agregados, expondo as frações que estavam protegidas no interior destes ao ataque microbiano. Após um determinado período de tempo, os compartimentos lábil e protegido estruturalmente tendem a atingir uma nova condição estável, porém bastante inferior à condição original, permanecendo no solo, frações orgânicas mais resistentes à decomposição, como aquelas protegidas pela interação com a fração mineral do solo (proteção coloidal). Com isto, a atividade microbiana também é reduzida, aumentando a influência do processo erosivo nas perdas de CO do solo.

Alterando o cenário de manejo para PC com rotação de culturas, agregando milho ao sistema, o teor de COT em 2055 tenderia a $21,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto é, 35,0% do teor original de COT do solo, apresentando um decréscimo de 2,9 vezes na quantidade de COT presente no solo. Este maior acúmulo de COT, quando comparado ao sistema de PC sem rotação (fumo-aveia) é devido a maior adição de fitomassa (parte aérea + raízes) ao sistema, que, segundo resultados obtidos pelo modelo, fica em torno de $3,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na sucessão fumo-aveia e $8,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na sucessão milho-aveia.

Se fosse substituído o PC para o CM, mantendo sem rotação (fumo-aveia), após 50 anos, o teor de COT presente neste solo, segundo simulação, tenderia a $25,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, isto é, 40,6% do teor encontrado em 1965, isto corresponde a um decréscimo de 2,5 vezes no teor de COT (Figura 25). Considerando que no CM há um menor grau de revolvimento do solo, foi atribuído a este cenário uma menor taxa de perda de solo por erosão em relação à taxa atribuída ao PC, que possui um maior grau de revolvimento do solo. Estas taxas já foram mencionadas e explicadas no item Material e Métodos deste trabalho.

Já se fosse utilizado o CM com rotação de culturas (fumo-aveia milho-aveia), o teor de COT neste solo tenderia a $32,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que

representa um decréscimo de 1,9 vezes na quantidade de COT (Figura 25). Esta diminuição na queda de COT do solo, quando comparado ao sistema CM sem rotação, esta associada ao fato de haver a utilização da cultura de milho que proporciona um aumento no aporte de C.

Evoluindo para o sistema de PD, verifica-se que este sistema com rotação de culturas proporciona o melhor resultado em relação à recuperação/manutenção do COT do solo (Figura 25). Isto é devido ao fato de haver uma maior adição de biomassa ao sistema (sucessão fumo-aveia: $5,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a sucessão milho-aveia: $8,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), além do não revolvimento do solo. O teor de COT em 2055 sob o PD com rotação tenderia a $38,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponde a 62,3% do teor original de COT do solo. Este valor também representa uma recuperação no teor de COT, em anos 50 de PD com rotação (2005 a 2055), de $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Debarba (2002) obteve resultados semelhantes através da avaliação de cenários de recuperação de estoques de COT em solos do Planalto Rio-Grandense, utilizando simulações futuras no modelo *Century*. Este autor verificou que a utilização de eventos de manejo com maior aporte anual de C juntamente com a redução no grau de revolvimento do solo, proporcionaram a recuperação parcial do CO perdido no período sem o uso de sistemas conservacionistas e rotação de culturas, sendo que os maiores incrementos de CO ocorreram nos primeiros 20 e 30 anos após a mudança nos eventos de manejo, tendendo a valores estáveis de CO no solo no final do período da simulação.

O aumento no conteúdo de CO a partir de uma condição de solo degradado, pela utilização de sistemas de cultura com grande aporte de C combinado a métodos de preparo do solo com mínimo revolvimento, também foi observado por Bayer (1996) e Amado et al. (2001) em solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Verifica-se na Figura 25 que o CM com rotação de culturas apresenta uma menor perda de COT ao longo do tempo, quando comparado ao sistema de PD sem rotação (fumo-aveia), e isto pode ser explicado pelo fato de que no CM, além de haver uma redução de perdas de solo por erosão através do menor revolvimento do solo, com a rotação de culturas há uma maior adição de biomassa ao solo ($4,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na sucessão fumo-aveia e de $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$

ano⁻¹ na sucessão milho-aveia) comparado à adição de 7,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema PD sem rotação. Estes resultados são confirmados pelos resultados obtidos por Mello (2004) nas lavouras da PBHR sob CM executado corretamente e sob PD com pouca cobertura de inverno.

Com os resultados das simulações verifica-se que se fosse mantido o PC sem rotação por mais 50 anos (ano de 2055) o conteúdo de COT do solo diminuiria 54% quando comparado com o valor de COT presente no solo em 2005 (Figura 25). Se mudasse para PC com rotação, esta diminuição seria de 40,5%. Se fosse adotado o CM sem rotação e com rotação, o teor de COT diminuiria 31,0% e 11,5%, respectivamente. Com a adoção do sistema de PD sem rotação, a diminuição seria de 28,5%. Já, com a evolução do sistema para PD com rotação haveria um aumento de 5,4% no teor de COT do solo. Estes resultados levam a crer que, com uso de um sistema de preparo do solo conservacionista e o emprego da rotação de culturas, as perdas de COT tendem a diminuir com o passar do tempo. Porém, verifica-se que mesmo sem o revolvimento do solo e com o uso de culturas de alta adição de biomassa, não houve uma recuperação muito elevada do estoque de COT no solo.

Sendo assim, estes resultados indicam a necessidade de mudança nos sistemas de manejo nos cenários que visam à elevação no estoque de CO do solo. Neste caso, as alterações podem ser voltadas, principalmente, no sentido de diminuir as perdas de solo por erosão, uma vez que este processo é responsável por uma considerável perda de CO do solo. Neste trabalho, como já citado em Material e Métodos, utilizaram-se dados oriundos da EUPS, os quais podem estar superestimando a real perda de solo existente na PBHR. Merten (1995) em um trabalho realizado no Paraná determinou perdas de solo em um Cambissolo Álico sob sistema de tração animal para a sucessão de trevoço/milho e verificou perdas de solo de 8,7 Mg ha⁻¹ no PC e de 4,3 Mg ha⁻¹ no CM, sendo estas perdas bem menores que as perdas encontradas pela EUPS na área da PBHR. Com isto, verifica-se, então a necessidade de mais estudos em relação às perdas de solo via erosão em áreas sob cultivo de fumo com tração animal, já que há uma grande carência de dados a este respeito.

Os resultados das simulações dos cenários futuros também levam a concluir que partindo de um sistema bastante degradado, como são as áreas de cultivo de fumo sob plantio convencional, é mais difícil de manter a

quantidade de COT no solo em níveis mais elevados do que partindo de um sistema menos degradado, onde a quantidade de COT presente no solo não é tão reduzida, facilitando a recuperação destes solos ao longo do tempo.

Deve-se levar em consideração que o COT presente no solo é apenas um indicador da qualidade do mesmo, pois um solo com maior quantidade de carbono é um solo com maior estabilidade dos agregados, menos susceptível à erosão e com maior capacidade de infiltração de água ao longo do perfil.

6.7. Modelagem da dinâmica espacialmente explícita do COT na PBHR

Em escala regional, as estimativas mais seguras das fontes e drenos do COS levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, requerem novas abordagens computacionais, conferindo um caráter multidimensional.

Ainda são raros os trabalhos que utilizam a chamada “modelagem dinâmica espacialmente explícita”, os quais integram em diversas escalas os modelos de dinâmica de nutrientes com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Donigian et al., 1994; Falloon et al., 1998).

Sendo assim, na tentativa de fazer uma primeira aproximação da variabilidade espacial e temporal do COT dos solos na PBHR do arroio Lajeado Ferreira, associou-se, através do acoplamento livre, os resultados das simulações realizadas no modelo *Century* com SIG.

A estimativa futura do teor de COT presente nos solos da PBHR para o ano de 2055 foi obtida através dos resultados das simulações do modelo *Century* nas 15 unidades de simulação já citadas neste trabalho (Figura 18). A fim de se verificar as diferenças nos teores de COT entre um solo com rotação de culturas (fumo-aveia, milho-aveia) e um solo sem rotação (apenas fumo-aveia), foi feita a simulação e posterior espacialização do sistema conservacionista de preparo do solo cultivo mínimo (CM) com rotação e sem rotação, e calculada a diferença entre os dois sistemas (Figuras 26).

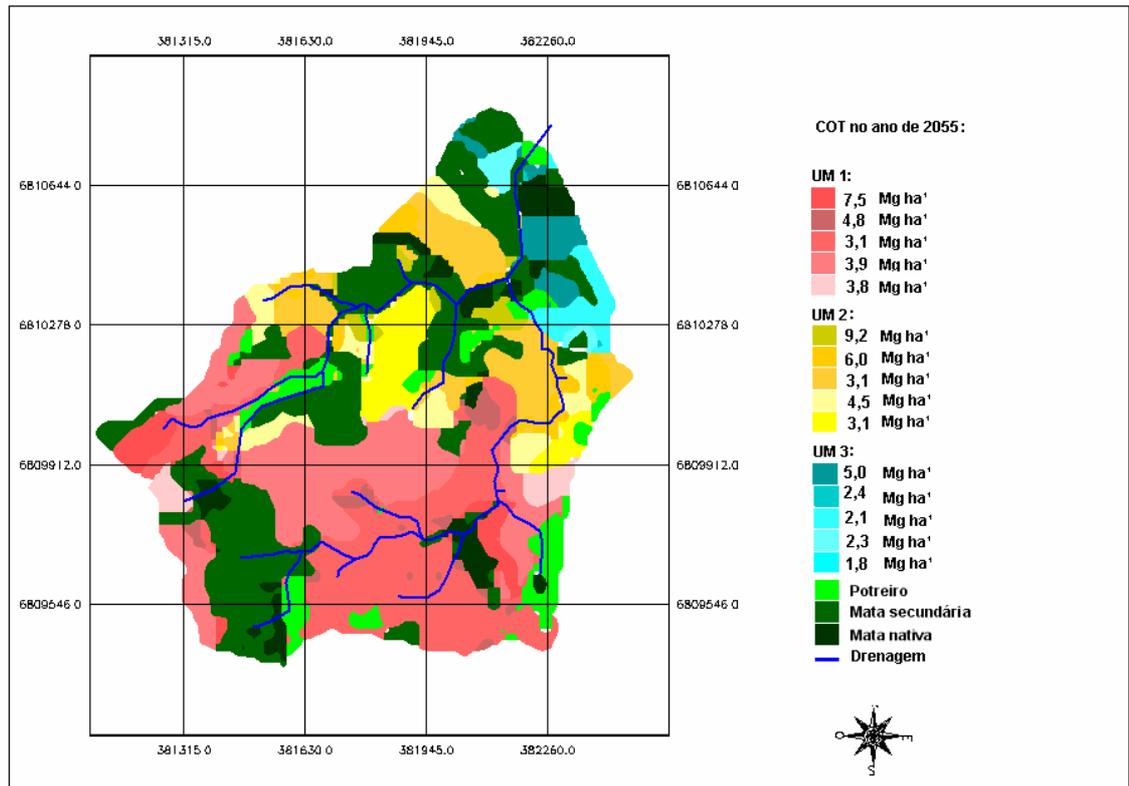


Figura 26. Diferenças em cada unidade de simulação do sistema de CM com rotação de culturas e sem rotação de culturas.

A UM 3 (composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd) por partir de um valor de COT original mais baixo que os solos das UM 2 e 1, possui os menores estoques futuros de COT, tanto no CM com rotação como no CM sem rotação de culturas.

O CM com rotação possui maiores quantidades de COT estocadas em todas as unidades de simulação, sendo que as maiores diferenças foram verificadas nos solos da UM 2 (composta pelos solos CXvd+RRd+ACt1 e CXvd+RRd) e as menores diferenças nos solos da UM 3 (Figura 26). Isto pode ser devido ao fato da localização dos solos da UM 2 ser numa região menos íngreme da PBHR quando comparado à região de localização dos solos da UM 3, auxiliando, assim, a diminuição das perdas de solo por erosão, o que, consequentemente, aumenta o conteúdo de COT do solo.

Com estes resultados, verifica-se que o acoplamento do modelo *Century* com SIG em escala regional é uma ferramenta bastante viável, desde que o modelo seja bem parametrizado e rodado com dados acurados, principalmente as variáveis temperatura do ar e estoque inicial de COT, as quais, segundo Leite et al. (2002), são as que possuem maior influência nas

variáveis de saída do modelo. Também é muito importante obter-se estimativas regionais confiáveis das perdas de solo por erosão, já que a erosão hídrica é um dos processos mais importantes de perda de C orgânico do solo, juntamente com a oxidação biológica do C orgânico a CO₂.

6.8 Estimativa do seqüestro de CO₂ nas Unidades de Simulação sob cultivo mínimo

Um acordo internacional firmado em 1997 por 150 países sob a égide da Convenção sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas, o Protocolo de Kyoto, estabelece cotas de poluição para os países signatários e para os países desenvolvidos, os maiores emissores dos gases de estufa. Este acordo contém mecanismos que possibilitam a transferência de cotas de seqüestro desses gases entre países menos desenvolvidos, bem como possibilita a implementação conjunta de ações com vistas à redução dessas emissões, abrindo assim oportunidades para um "mercado de carbono" global.

Entretanto, vários aspectos relativos ao monitoramento do seqüestro desses gases da atmosfera ainda estão sendo validados e requerem complexas pesquisas de campo e elaboração de modelos matemáticos para facilitar a predição dos níveis futuros (concentração), e suas relações com os parâmetros de desenvolvimento florestal e agrícola.

Neste tópico será discutido um exemplo de uma primeira aproximação de uma forma potencial de estimar os estoques futuros de COT no solo, estimando assim, o potencial de uma área em seqüestrar CO₂ sob um sistema conservacionista de preparo do solo.

Estudos visando quantificar as taxas de seqüestro de C em solos sob plantio direto no estado do Rio Grande do Sul limitam-se a alguns experimentos de longa duração, os quais são bastante apropriados para estes objetivos. As taxas anuais de seqüestro de C variam de 0,2 a 1,3 Mg ha⁻¹ (Bayer et al., 2000; Amado et al., 2001), sendo que essa ampla faixa decorre das variações no tipo de solo e condições ambientais, além do sistema de cultura adotado. Como neste trabalho procurou-se estimar o potencial de seqüestro de carbono através de práticas conservacionistas de preparo do

solo, visou-se a quantificação do teor de carbono “potencialmente seqüestrável” utilizando o sistema de cultivo mínimo, por ser o sistema de preparo do solo, segundo entrevista realizada com técnicos da EMATER/RS, com maior aceitação pelos produtores e maior crescimento na PBHR do arroio Lajeado-Ferreira. Vale destacar que o sistema de plantio direto, por não ter revolvimento do solo, aumenta o incremento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, com isto, possui um potencial bem maior de seqüestro de carbono do que o sistema de cultivo convencional e mínimo.

A estimativa neste trabalho foi feita levando em consideração a área ocupada com cada unidade de simulação da PBHR e o teor de COT presente no solo no ano de 2055, de acordo com a Tabela 15.

Aceitando-se como válida esta estimativa, e considerando que todo este teor de COT encontrado em cada unidade de simulação fosse equivalente à quantidade de carbono adicionada ao solo na forma de matéria orgânica, em toda a área cultivada da PBHR sob CM com rotação de culturas (fumo-aveia milho-aveia), seria possível adicionar ao solo 2.174,8 Mg de carbono, e sem rotação (fumo-aveia) 1.879,1 Mg de carbono.

Considerando que o valor da megagrama do crédito de carbono no mercado internacional está em torno de US\$ 5,00 (Portalgd, 2006; EMBRAPA, 2006), toda a área da PBHR renderia, em 50 anos, US\$ 9.395,50 sob CM sem rotação, sendo que, se adotassem o CM com rotação de culturas este valor aumentaria em US\$ 1.478,50 , chegando a US\$ 10.874,00.

Para fins de comparação, considerando a possibilidade de utilização de reflorestamento na área, se fosse adotado a cultura de eucalipto em toda área da PBHR, considerando um estoque total de carbono no fuste (madeira + casca) em 7 anos de cultivo de 48,2 Mg ha⁻¹ (Soares et al., 2005), se obteria 3.615 Mg de carbono estocado, o que renderia US\$ 18.075,00 em créditos de carbono em 7 anos.

Tabela 15. Estimativa do seqüestro de CO₂ nas unidades de simulação para o ano de 2055 sob sistema de CM com rotação e sem rotação de culturas

| Unidade de simulação | Área ocupada (ha) | CM com rotação (Mg) | CM sem rotação (Mg) | Diferença entre CM com e sem rotação (Mg) |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| UM 3_Agricultura2005 | 3,0 | 91,2 | 76,2 | 15,0 |
| UM 3_Agricultura1985 | 0,0 | 22,8 | 20,3 | 2,5 |
| UM 3_Agricultura1965 | 2,5 | 52,8 | 45,0 | 7,8 |
| UM 3_Agricultura1945 | 0,9 | 18,4 | 16,3 | 2,1 |
| UM 3_Agricultura1925 | 0,0 | 19,8 | 17,8 | 2,0 |
| TOTAL UM 3 | 6,4 | 204,9 | 175,6 | 29,4 |
| UM 2_Agricultura2005 | 1,1 | 39,4 | 29,3 | 10,1 |
| UM 2_Agricultura1985 | 2,6 | 74,1 | 58,5 | 15,6 |
| UM 2_Agricultura1965 | 9,5 | 251,8 | 222,3 | 29,5 |
| UM 2_Agricultura1945 | 4,5 | 116,6 | 96,3 | 20,3 |
| UM 2_Agricultura1925 | 5,2 | 132,1 | 116 | 16,1 |
| TOTAL UM 2 | 22,9 | 613,6 | 522,4 | 91,6 |
| UM 1_Agricultura2005 | 3,1 | 111,3 | 88,0 | 23,3 |
| UM 1_Agricultura1985 | 1,6 | 47,5 | 39,8 | 7,7 |
| UM 1_Agricultura1965 | 20,9 | 620,7 | 555,9 | 64,8 |
| UM 1_Agricultura1945 | 18,2 | 516,9 | 445,9 | 71,0 |
| UM 1_Agricultura1925 | 2,2 | 59,8 | 51,5 | 8,3 |
| TOTAL UM 1 | 46,0 | 1.356,3 | 1.181,1 | 175,1 |
| TOTAL | 75,3 | 2.174,8 | 1.879,1 | 296,1 |

Verifica-se com estes resultados que a adição de carbono ao solo utilizando-se o CM com rotação de culturas, mesmo que por 50 anos, não se equivaleria ao valor da adição proporcionada pelo reflorestamento com eucalipto por apenas 7 anos.

Uma outra opção seria a prática do pousio mais longo, porém, deve-se precaver para evitar que o desenvolvimento das plantas não chegue a um DAP (diâmetro na altura do peito) maior que 0,08 m, pois com isso, segundo o Código Florestal Estadual, teria-se que se executar o plantio compensatório de 15 mudas para cada árvore cortada. Já, se as plantas apresentarem DAP menor que 0,08 m, segundo o Código Florestal Estadual, caracteriza-se descapoeiramento, o qual permite o corte raso de vegetação nativa formada com até 3 m de altura, podendo-se assim cortar 10 m³ / ano de lenha para consumo na propriedade. Com o descapoeiramento, a reposição florestal obrigatória fica em 10 mudas / m³ de lenha obtida, com plantio mínimo de 100 mudas, ou pode ser realizada outra forma de compensação tecnicamente viável, como por exemplo, reflorestamento com eucalipto ou plantio de erva-mate, uma espécie arbórea de importância econômica bastante comum na região da PBHR.

Com isso, verifica-se a necessidade de se fazer um planejamento sustentável da propriedade ao longo do tempo, propondo práticas de preparo do solo e sistemas de culturas mais eficientes, que possam adicionar mais carbono ao solo em um espaço menor de tempo.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se a partir do acoplamento livre do modelo *Century* com SIG uma ferramenta potencial para estudar a “modelagem dinâmica espacialmente explícita” do COS.

O modelo *Century* mostrou-se capaz de simular as alterações do carbono orgânico total na PBHR do arroio Lajeado Ferreira, representando a dinâmica do COT do solo de forma bastante semelhante da que é verificada a campo.

O maior impacto da exploração agrícola sobre o estoque original de CO nas unidades de simulação foi verificado na unidade de simulação da UM 3 (composta pelos solos CXvd+RRd e RRd +CXvd) com agricultura desde 1925, nos quais se verificou um decréscimo de 60% do COT original do solo em 80 anos de cultivo intensivo (1925 a 2005).

O menor impacto da exploração agrícola sobre o COT da vegetação nativa foi verificado na unidade de simulação da UM 1 (composta pelos solos ACt1+CXvd+RRd) com agricultura desde 1985, onde houve um decréscimo de 28% do COT original do solo em 20 anos de cultivo intensivo (1985 a 2005).

Nas simulações realizadas a partir dos dados do solo Cambissolo Háplico Ta distrófico típico sob diferentes preparo e diferentes sistemas de culturas, verificou-se que o sistema sob PC durante 90 anos (1965 a 2055) obteve uma queda no teor de COT original do solo de 73%. Dentre os sistemas estudados, este foi o que originou as maiores quedas no COT do solo com o passar do tempo. O sistema de PD com rotação de culturas foi o único capaz de recuperar o conteúdo de COT no solo, no ano de 2055, quando comparado ao estoque obtido em 2005 (40 anos de cultivo intensivo).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos nas simulações verifica-se, em todos os solos estudados, que quanto maior é o tempo de exploração agrícola sem adoção de práticas conservacionistas, menor é o conteúdo de carbono orgânico presente no solo com o passar do tempo, isto é, mais degradado ficará o solo. Porém, se ocorrer uma evolução para um sistema conservacionista de preparo do solo, associado a culturas com alta adição de biomassa, as perdas de carbono orgânico tendem a diminuir.

Verifica-se também nos resultados das simulações que o sistema que mais adicionou carbono ao solo no período de simulação foi o pousio mais prolongado, de 5 e de 10 anos, devido ao fato de não haver revolvimento do solo (diminui a perda de solo via erosão e decomposição microbiana) e proporcionar maior cobertura e adição de biomassa quando comparado ao sistema com fumo. De acordo com as simulações futuras, nem o uso de culturas com maior adição de resíduos e o não revolvimento do solo, proporcionaram uma adição tão alta de COT ao solo quanto o sistema de pousio por 5 ou 10 anos. Assim, assumindo estes resultados como reais e considerando que o fumo é a principal cultura da região da PBHR, a qual, devido ao pequeno tamanho das propriedades, proporciona maior rentabilidade aos produtores, poderia se recomendar o retorno da prática do pousio mais longo nestas áreas, através de um planejamento da propriedade, alternando as áreas dentro da propriedade com áreas com: pousio e com CM ou PD fumo/aveia milho/aveia. Recomenda-se a adição de milho ao sistema por ser uma espécie que produz uma considerável quantidade de biomassa, além de melhorar o solo no aspecto fitossanitário, pelo fato da espécie não pertencer à

mesma família do fumo (*Solanaceae*), diminuindo assim a incidência de doenças. Existe também a possibilidade de se realizar um consórcio de milho com leguminosa de verão, para aumentar a produção de biomassa sobre o solo.

Com os resultados das estimativas de “seqüestro” de carbono na PBHR, verifica-se que é mais rentável, levando em consideração o mercado de carbono, o reflorestamento com espécies comerciais do que o sistema conservacionista CM fumo-aveia / milho-aveia. Sendo assim, assumindo estes resultados e considerando que a prática do reflorestamento tende a diminuir as perdas de solo por erosão, se poderia sugerir o plantio de espécies florestais nas áreas inaptas para o cultivo de culturas anuais, como por exemplo, as áreas mais íngremes.

Outra opção para as áreas sem aptidão agrícola para agricultura intensiva (solos Neossolo com alta declividade, por exemplo) seria o uso de florestas nativas enriquecidas com erva-mate, e destas áreas se valer dos créditos de carbono.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Qualidade ambiental e plantio direto na 10ª ISCO. **Revista do Plantio Direto**, Passo Fundo, n.52, p.34-35, 1999.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n.1, p. 189-197, 2001.

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: Nifital Project, University of Hawaii, 1989. p. 97-123.

ARGENT, R. M. An overview of model integration for environmental applications - components, frameworks and semantics. **Environmental Modelling & Software**, Oxford. v. 19, p. 219-234, 2004

ARGENTA, D. P. B.; PANTE, A.R.; MERTEN, G. H.; FLORIANO, R. F. Avaliação do índice de erosividade da produção norte-nordeste do estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2002, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS/PROPESQ, 2001. P37.

BALDOCK, J.O; 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.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN – NETO, L. Efeito de Sistemas de Preparo e de Cultura na Dinâmica de Matéria Orgânica e na Mitigação das

emissões de CO₂. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.599-607, 2000.

BENATTO, L.; MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Estimativas de perdas de solo através da EUPS em uma pequena bacia hidrográfica rural sob cultivo de fumo. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16, 2004, Porto Alegre **Resumos...**Porto Alegre: UFRGS/PROPEQS, 2004.

BRADYBURY, N.J.; WHITMORE, A.P.; HART, P.B.S.; JENKINSON, D.S. Modeling the fate of nitrogen in crop and soil in the years following application of ¹⁵N- labeled fertilizer to winter wheat. **Journal of Agriculture Sci.**, Cambridge, 121-363, 1993.

BRASIL. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 431p. (Boletim 30).

BRUCE, J.P.; FROME, M; HAITES, E. et al. Carbon sequestration in soils. **Journal of soil and water conservation**, Ankeny, v.5, n. 1, p.382-389, 1999.

BRUM, A. J.. **O desenvolvimento da agricultura: trigo e soja**. Petrópolis: Vozes, 1987. 204p.

BUOL, S. W.; SANCHES, P.A.; WEED, S.B. Predicted impacto f climatic warming on soil properties and use. In: KIMBALL, BA.; ROSENBERG, N.J.; ALLEN, L.H. (Eds.) **Impact of dioxide, trace gases and climate change on global agriculture**. Madison: ASA, 1990. p.71-82 (ASA special publication, 53).

CERETTA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. Métodos Espectroscópicos In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

CHERTOV, O.G.; KOMAROV, A.S. SOMM: a model for the turnover of carbon in soil: In: POLWSON, T. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Eds). Evaluation of soil organic matter using existing long term datasets. NATO ASI, 1996 (Series I). 38 237-246.

COLLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26,3 – a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Eds). Evaluation of soil organic matter using existing long term datasets. NATO ASI, Series I, 38 237--246, 1996.

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.

DEBARBA, L. **Simulação pelo Modelo Century do Impacto da Agricultura sobre o Estoque de Carbono Orgânico em Solos do Planalto Riograndense.** 2002. 172 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DONIGAN Jr, A.S.; BARNWELL, T.O.; JACKSON, R.B.; PATWARDHAN, A.S.; WEINRICH, K.B.; ROWELL, A.L.; CHINNASWAMY, R.V.; COLE, C.V. **Assessment of alternative management practices and policies affecting carbon in agroecosystems of the Central United States.** Boca Raton: CRC, 1994. 194p.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, 1989. p. 33-67.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA **[Informações]**. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 24/01/2006.

FALLOON, P. D.; SMITH, P.; SMITH, J.U.; SZABÓ, J.; COLEMAN, K.; MARSHALL, S. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, 27, p. 236-241, 1998.

FALLOON, P.D.; SMITH, P. Simulating SOC changes in long-term experiments with ROTHC and *Century*: model evaluation for regional scale application. **Soil Use and Management**, Cambridge, 18, p. 101-111, 2002.

FEE -FUNDAÇÃO DE ECONOMIA DE ESTATÍSTICA. **[Informações]**. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.fee.tche.br>. Acesso em: 09/12/2005.

FEPAGRO. **Projeto de Monitoramento Ambiental de microbacias hidrográficas do Programa RS Rural:** Relatório Final. Porto Alegre, 2005. 215p.

FERNANDES, F.F. **Uso do modelo century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul.** 2002. 157 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GRANT, R. F. Modeling transformations of soil organic carbon and nitrogen at differing scales of complexity. In: SHAFFER, M. J.; MA, L.; HANSEN, S. (Eds)

Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Boca Raton, Lewis Publisher, 2001. p597-630.

GREENLAND, D.J; WILD, A; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics-from myth to complex reality. In: LAL, R. (Ed.) **Myths and science of soils of the tropics.** Madison: ASA/SSSA, 1992. P.17-33.

HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v.15, p.17-29, 1945.

HOUGHTON, J. **Global warning:** The complete briefing. New York: Alion Book, 1995. 192p.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1989 3v.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE **[Informações]**. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em 10/01/2006.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change: The Scientific Basis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. **Plant and Soil**, The Hague, v.72, p.297-304, 1984.

JOBAGY, E.G. & JACKSON, R.B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, Tempe, 423-436: 10(2): 2000.

JOHNSON, M.G. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil management and greenhouse effect.** Boca Raton: CRC, 1995. p.351-363. (Advances in Soil Science).

KIRSCHBAUM, M.U.F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming. **Biogeochemistry**, Dordrecht, 48(1): 21-51, 2000.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.81-108, 1997.

LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B.A. **Soil Processes and the Carbon Cycle.** Boca Raton, Florida. CRC Press LLC, 1997. (Advances in soil science).

LAL, R. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**. Amsterdam, 2004; 1231-22.

LEITE, L.F.C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e sua simulação pelo modelo Century**. 2002. 146 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O. A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Alissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.347-358, 2004.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. Modelagem da dinâmica da matéria orgânica em ambiente tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE; EMBRAPA, 2005a.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MELO, F.B.; CARDOSO, M.J.; LOPES, A.N.C.; ARAÚJO, A.R. Simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo pelo modelo *Century* em plantio direto e convencional nos cerrados maranhenses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE; EMBRAPA, 2005b

LI, C. The DNDC model. In: POLWSON, T. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Eds). **Evaluation of soil organic matter using existing long term datasets**. NATO ASI, Series I, 38 263-268, 1996.

LIESENFELD, M.V.A; CORBELLIN, L.M. **Relatório de levantamento da comunidade florestal da microbacia do arroio Lajeado Ferreira, Arvorezinha - RS, como subsídio à formulação de parâmetros para o monitoramento ambiental**. Porto Alegre: [n.pub], 2002. 25p.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53p.

LOPES, F.; MERTEN, G.H. Parametrização inicial do modelo *century* v. 4.0 por simulações de equilíbrio para situação de mata subtropical In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...**Recife: UFRPE; EMBRAPA, 2005.

LOVATO, T. **Dinâmica do Carbono e Nitrogênio do Solo afetada por Preparos do Solo, Sistemas de Cultura e Adubo Nitrogenado**. 2001. 133 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques

destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.175-187, 2004.

MANAH. **O PD melhora a renda da propriedade familiar**. Rio do Carmo, SC, setembro de 2000. Disponível em: www.manah.com.br/informativos. Acesso em: 14 de fev 2006.

MARTIN, J.P.; HAIDEN, k. Influence of mineral colloid 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).

MELLO, N. A. **Exportação de carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo**. Projeto de Tese de Doutorado (Exame de Qualificação) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MERTEN, G. H. **Avaliação da erosão em sistemas de produção com tração animal em cambissolo álico**. In: Relatório Interno. Ponta Grossa: IAPAR, 1995. Atividade Programa e Solo e Água – PSA-IAPAR, Relatório Interno.

METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V.; & PARTON, W.J. **Century: Soil Organic Matter Model Environmental**. Technical Documentation Agrossystem Version 4.0., Fort Collins: USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4).

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O (Eds). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

MIELNICZUK J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo do solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Campinas, p. 209-248, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

NORGAARD, A. **Spatial modeling of soil organic carbon by linking Century and GIS**.2004. 170 f. Dissertação (Mestrado) University of Copenhagen. Copenhagen, 2004.

OADES, J.M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J.B; WEED, S.B. (Eds). **Mineral in soil environments**. 2 ed. Madison: Soil Science Society América, 1989. p.89-159.

OLIVEIRA, E.S. **Uso do modelo century no estudo da dinâmica do nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul**. 2005. 129 f. Dissertação

(Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo , Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effect of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, n.1, p1-12, 1997.

PARSHOTAM, A.; TATE, K.R.; GILTRAP, D.J.; Potential effects of climate and land-use change on soil carbon and CO₂ emissions from New Zealand's indigenous forest and unimproved grassland. **Weather and Climate**, Wellington, 15: 3-12, 1996.

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 América**, Madison, 51: 1173-1179, 1987.

PATTERSON, D.; FLINT, E.P. Implications of increasing carbon dioxide and climate change for plant communities and competition in natural and managed ecosystems. In: KIMBALL, B. A.; ROSENBERG, N.J.; ALLEN, L.N. (Eds.) **Impact of dioxide, trace gases and climate change on global agriculture**. Madison: ASA, 1990. p.83-110 (ASA special publication, 53).

PENNOCK, D.J.; ANDERSON, D.W.; De JONG, E. Landscape-scale changes in indicators of soil quality due to cultivation in Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, n.1, p. 1-19, 1994.

PENNOCK, D.J.; FRICK, A.H. The role of field studies in landscape-scale application of process models: an example of soil redistribution and soil organic carbon modeling using Century. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.58, P. 183-191, 2001.

PILLON, C.N. Incremento de matéria orgânica particulada e associada a minerais por sistemas de manejo em solo Podzólico Vermelho-Escuro. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., 1999, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: NRS-SBCS, 1999. p.203-206.

PORTALGD. **[Informações]**. Disponível em: www.portalgd.com.br. Acesso em: 24 jan. 2006.

POST, W.M.; KING, A.W. E WULLSCHLEGER, S.D. Historical variations in terrestrial biospheric carbon storage. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, 11, 99-109, 1997.

POST, W.M. & KNON, K.C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, Oxford (3) 6: 317-327, 2000.

RESENDE, M.; CURY, N.; REZENDE, S.B; CORREA, G.F. **Pedologia**: Base para a distinção de ambientes. 2 ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.

SHAFFER, M.J.; MA, L.; HANSEN, S. Introduction to simulation of carbon and nitrogen dynamic in soils. In: SHAFFER, M.J.; MA, L.; HANSEN, S. (Eds) **Modeling Carbon and Nitrogen Dynamic for Soil Management**. Boca Raton: Lewis Publishers, FL., 2001. p1-10.

SILVEIRA, A. M.; VICTORIA, R.V.; BALLESTER, M.V.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do Rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.389-399, 2000.

SMITH, P. POWLSON, D., S.; SMITH, J., I. A comparasion of the performance of nine soil organic matter using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**, Amsterdam, 81:153-255, 1997.

SMITH, P; FALLON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, J.; PICCOLO M.; CERRI, C; BERNOUX, M.; JENKINSON, D.; INGRAM, J.; SZABO J.; PASZTOR, L. Modeling soil carbon dynamic in tropical ecosystem. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Eds) **Global Climate Change and Tropical Soils**. 2001, p314-364 (Advances in Soil Science).

SOARES, C.P.B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E.B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Rev. Árvore**, Viçosa, 29: 5, Set./Out., 2005.

SOUZA CRUZ **[Informações]**, dezembro de 2005. Disponível em: www.souzacruz.com.br. Acesso em: 14 fev. 2006.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.

SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**: Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996

THENG, B.K.G; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituens of Organic Matter in temperate and tropical soil. In: In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, 1989. p. 5-32.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, Oxford, v.33, n.2, p.141-163, 1982.

TISDALL, J.M. Formation of Soil Aggregates and Accumulation of Soil Organic Matter. In: CARTER, M.R.; STEWWART, B.A. (Eds) **Structures and Organic Matter Storage in Agricultural Soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Execução do subprojeto 4: caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia de Cândido Brum, Arvorezinha –RS**. Santa Maria, 2001. 96p. n.pub.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Execução do subprojeto 4:** caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia de Cândido Brum, Arvorezinha –RS. Santa Maria, 2004. 86p. n.pub.

VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil.1. Background information and computer simulation. **Canadian Journal Soil Science**, Lethbridge, v.61, p.185-201, 1981

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola.** 2001. 184 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre ,2001.

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

WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by sanbornfield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.14, p.208-212, 1949

10.APÊNDICES

APÊNDICE 1. Dados mensais de precipitação e temperaturas mínima e máxima do ar referentes ao período de 1950 a 2000 utilizado pelo modelo *Century* nas simulações dos diferentes tipos de solo encontrados na PBHR. Dados cedidos gentilmente pelo Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS da estação meteorológica de Passo Fundo

| Meses | Precipitação pluviométrica (cm) | Temperatura média mínima (°C) | Temperatura média máxima (°C) |
|--------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Janeiro | 15,8 | 16,9 | 29,7 |
| Fevereiro | 14,7 | 17,1 | 29,1 |
| Março | 12,9 | 14,9 | 27,7 |
| Abril | 11,7 | 12,5 | 24,4 |
| Maio | 13,2 | 9,7 | 21,4 |
| Junho | 16,0 | 7,9 | 19,1 |
| Julho | 13,9 | 7,3 | 19,3 |
| Agosto | 15,8 | 8,2 | 20,7 |
| Setembro | 18,4 | 10,0 | 22,1 |
| Outubro | 15,9 | 11,8 | 24,2 |
| Novembro | 12,6 | 13,5 | 26,9 |
| Dezembro | 15,2 | 15,5 | 29,1 |

APÊNDICE 2. Exemplo de parâmetros locais (SITE.100) do modelo *Century* utilizados nas simulações dos solos da UM 3 com base em dados reais de clima e solo da área em estudo.

| | | | | |
|------------------------------------|------------|---|------------|-------------|
| Neossolo.100 | | | 0.2 | AWILT(4) |
| *** Parâmetros de clima – | | | 0.2 | AWILT(5) |
| Passo Fundo | | | 0.2 | AWILT(6) |
| 15.8 | PRECIP(1) | | 0.2 | AWILT(7) |
| 14.7 | PRECIP(2) | | 0.2 | AWILT(8) |
| 12.9 | PRECIP(3) | | 0.2 | AWILT(9) |
| 11.7 | PRECIP(4) | | 0.2 | AWILT(10) |
| 13.2 | PRECIP(5) | | 0.4 | AFIEL(1) |
| 16.0 | PRECIP(6) | | 0.4 | AFIEL(2) |
| 13.9 | PRECIP(7) | | 0.4 | AFIEL(3) |
| 15.8 | PRECIP(8) | | 0.4 | AFIEL(4) |
| 18.4 | PRECIP(9) | | 0.4 | AFIEL(5) |
| 15.9 | PRECIP(10) | | 0.4 | AFIEL(6) |
| 12.6 | PRECIP(11) | | 0.4 | AFIEL(7) |
| 15.2 | PRECIP(12) | | 0.4 | AFIEL(8) |
| 16.9 | TMN2M(1) | | 0.4 | AFIEL(9) |
| 17.1 | TMN2M(2) | | 0.4 | AFIEL(10) |
| 14.9 | TMN2M(3) | | 4.1 | PH |
| 12.5 | TMN2M(4) | | 1.0 | PSLSRB |
| 9.7 | TMN2M(5) | | 100.0 | SORPMX |
| 7.9 | TMN2M(6) | *** Parâmetros | | de entrada |
| 7.3 | TMN2M(7) | nutrientes | | externa de |
| 8.2 | TMN2M(8) | | 0.2100 | EPNFA(1) |
| 10.0 | TMN2M(9) | | 0.0028 | EPNFA(2) |
| 11.8 | TMN2M(10) | | -0.92 | EPNFS(1) |
| 13.5 | TMN2M(11) | | 0.019 | EPNFS(2) |
| 15.5 | TMN2M(12) | | 0.0 | SATMOS(1) |
| 29.7 | TMX2M(1) | | 0.0 | SATMOS(2) |
| 29.1 | TMX2M(2) | | 0.0 | SIRRI |
| 27.7 | TMX2M(3) | *** Valores para matéria orgânica inicial | | |
| 24.4 | TMX2M(4) | | 40.932 | SOM1CI(1,1) |
| 21.4 | TMX2M(5) | | 0.0 | SOM1CI(1,2) |
| 19.1 | TMX2M(6) | | 120.99 | SOM1CI(2,1) |
| 19.3 | TMX2M(7) | | 0.0 | SOM1CI(2,2) |
| 20.7 | TMX2M(8) | | 2501.3 | SOM2CI(1) |
| 22.1 | TMX2M(9) | | 2501.3 | SOM2CI(1) |
| 24.2 | TMX2M(10) | | 0.0 | SOM2CI(2) |
| 26.9 | TMX2M(11) | | 2137.9 | SOM3CI(1) |
| 29.1 | TMX2M(12) | | 0.0 | SOM3CI(2) |
| *** Parâmetros de controle e local | | | 14.87 | RCES1(1,1) |
| 0 | IVAUTO | | 3.7853E+08 | RCES1(1,2) |
| 1.0 | NELEM | | 2.3655E+08 | RCES1(1,3) |
| -28.15 | SITLAT | | 9.6649 | RCES1(2,1) |
| -52.24 | SITLNG | | 4.8828E+07 | RCES1(2,2) |
| 0.26 | SAND | | 1.0676E+08 | RCES1(2,3) |
| 0.37 | SILT | | 21.642 | RCES2(1) |
| 0.37 | CLAY | | 3.2090E+10 | RCES2(2) |
| 1.1 | BULKD | | 7.2999E+10 | RCES2(3) |
| 5.0 | NLAYER | | 7.1794 | RCES3(1) |
| 5.0 | NLAYPG | | 6.0866E+08 | RCES3(2) |
| 0.5 | DRAIN | | 1.9600E+09 | RCES3(3) |
| 0.3 | BASEF | | 254.76 | CLITTR(1,1) |
| 0.6 | STORMF | | 0.0 | CLITTR(1,2) |
| 3.0 | SWFLAG | | 148.5 | CLITTR(2,1) |
| 0.2 | AWILT(1) | | 0.0 | CLITTR(2,2) |
| 0.2 | AWILT(2) | | 177.63 | RCELIT(1,1) |
| 0.2 | AWILT(3) | | | continua... |

| | | | |
|--|-------------|--------------------------------|--------------|
| 433.07 | RCELIT(1,2) | 1.6702E-05 | MINERL(6,1) |
| 300.0 | RCELIT(1,3) | 0.0 | MINERL(7,1) |
| 81.144 | RCELIT(2,1) | 0.0 | MINERL(8,1) |
| 471.86 | RCELIT(2,2) | 0.0 | MINERL(9,1) |
| 300.0 | RCELIT(2,3) | 0.0 | MINERL(10,1) |
| 151.73 | AGLCIS(1) | 5.6548 | MINERL(1,2) |
| 0.0 | AGLCIS(2) | 0.0 | MINERL(2,2) |
| 1.7003 | AGLIVE(1) | 0.0 | MINERL(3,2) |
| 0.054439 | AGLIVE(2) | 0.0 | MINERL(4,2) |
| 0.0 | AGLIVE(3) | 0.0 | MINERL(5,2) |
| 365.53 | BGLCIS(1) | 0.0 | MINERL(6,2) |
| 0.0 | BGLCIS(2) | 0.0 | MINERL(7,2) |
| 7.1758 | BGLIVE(1) | 0.0 | MINERL(8,2) |
| 0.94794 | BGLIVE(2) | 0.0 | MINERL(9,2) |
| 0.45 | BGLIVE(3) | 0.0 | MINERL(10,2) |
| 133.61 | STDCIS(1) | 0.5 | MINERL(1,3) |
| 0.0 | STDCIS(2) | 0.0 | MINERL(2,3) |
| .90803 | STDEDE(1) | 0.0 | MINERL(3,3) |
| 0.044097 | STDEDE(2) | 0.0 | MINERL(4,3) |
| 0.2 | STDEDE(3) | 0.0 | MINERL(5,3) |
| *** Parâmetros de matéria orgânica inicial de floresta | | 0.0 | MINERL(6,3) |
| 0.0 | RLVCIS(1) | 0.0 | MINERL(7,3) |
| 0.0 | RLVCIS(2) | 0.0 | MINERL(8,3) |
| 0.0 | RLEAVE(1) | 0.0 | MINERL(9,3) |
| 0.0 | RLEAVE(2) | 0.0 | MINERL(10,3) |
| 0.0 | RLEAVE(3) | 0.0 | PARENT(1) |
| 0.0 | FBRCIS(1) | 50.0 | PARENT(2) |
| 0.0 | FBRCIS(2) | 50.0 | PARENT(3) |
| 0.0 | FBRCHE(1) | 0.0 | SECNDY(1) |
| 0.0 | FBRCHE(2) | 15.0 | SECNDY(2) |
| 0.0 | FBRCHE(3) | 2.0 | SECNDY(3) |
| 0.0 | RLWCIS(1) | 0.0 | OCCLUD |
| 0.0 | RLWCIS(2) | *** Parâmetros de água inicial | |
| 0.0 | RLWODE(1) | -4.1332E-08 | RWCF(1) |
| 0.0 | RLWODE(2) | -4.1332E-08 | RWCF(2) |
| 0.0 | RLWODE(3) | -4.1332E-08 | RWCF(3) |
| 0.0 | FRTCIS(1) | -4.1332E-08 | RWCF(4) |
| 0.0 | FRTCIS(2) | .17336 | RWCF(5) |
| 0.0 | FROOTE(1) | 0.0 | RWCF(6) |
| 0.0 | FROOTE(2) | 0.0 | RWCF(7) |
| 0.0 | FROOTE(3) | 0.0 | RWCF(8) |
| 0.0 | CRTCIS(1) | 0.0 | RWCF(9) |
| 0.0 | CRTCIS(2) | 0.0 | RWCF(10) |
| 0.0 | CROOTE(1) | 0.0 | SNLQ |
| 0.0 | CROOTE(2) | 0.0 | SNOW |
| 0.0 | CROOTE(3) | | |
| 0.0 | WD1CIS(1) | | |
| 0.0 | WD1CIS(2) | | |
| 0.0 | WD2CIS(1) | | |
| 0.0 | WD2CIS(2) | | |
| 0.0 | WD3CIS(1) | | |
| 0.0 | WD3CIS(2) | | |
| 0.3 | W1LIG | | |
| 0.3 | W2LIG | | |
| 0.3 | W3LIG | | |
| *** Parâmetros de minerais iniciais | | | |
| .44735 | MINERL(1,1) | | |
| 0.0018691 | MINERL(2,1) | | |
| 3.2505E-04 | MINERL(3,1) | | |
| 6.0180E-05 | MINERL(4,1) | | |
| 1.1176E-05 | MINERL(5,1) | | |

APÊNDICE 3. Dados de granulometria dos solos encontrados na PBHR e que foram utilizados nas simulações do modelo *Century*

| Solo | Argila (%) | Areia (%) | Silte (%) | pH |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Alissolo Crômico argilúvico abrupto ¹ | 39,5 | 23,0 | 37,5 | 5,5 |
| Cambissolo Háptico Ta distrófico típico ² | 37,0 | 26,1 | 36,9 | 5,7 |
| Neossolo Regolítico distrófico típico ¹ | 37,0 | 26,0 | 36,9 | 4,1 |

¹ Dados oriundos de FEPAGRO (2005) para a camada de 0 – 20cm

² Dados oriundos de Mello (2004) para a camada de 0 - 17,5cm

APÊNDICE 4. Parâmetros do arquivo CROP.100 do modelo *Century* utilizados nas simulações realizadas nos diferentes tipos de solos da PBHR

| | | | |
|--------|-----------------|---------|----------------------|
| MPDAM | Milho | 35.0 | 'PRAMX(1,1)' |
| 180.0 | 'PRDX(1)' | 440.0 | 'PRAMX(2,1)' |
| 30.0 | 'PPDF(1)' | 440.0 | 'PRAMX(3,1)' |
| 45.0 | 'PPDF(2)' | 95.0 | 'PRAMX(1,2)' |
| 1.0 | 'PPDF(3)' | 440.0 | 'PRAMX(2,2)' |
| 2.5 | 'PPDF(4)' | 440.0 | 'PRAMX(3,2)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 50.0 | 'PRBMN(1,1)' |
| 1800.0 | 'BIOK5' | 390.0 | 'PRBMN(2,1)' |
| 0.5 | 'PLTMRF' | 340.0 | 'PRBMN(3,1)' |
| 90.0 | 'FULCAN' | 0.0 | 'PRBMN(1,2)' |
| 0.4 | 'FRTC(1)' | 0.0 | 'PRBMN(2,2)' |
| 0.4 | 'FRTC(2)' | 0.0 | 'PRBMN(3,2)' |
| 3.0 | 'FRTC(3)' | 55.0 | 'PRBMX(1,1)' |
| 600.0 | 'BIOMAX' | 420.0 | 'PRBMX(2,1)' |
| 30.0 | 'PRAMN(1,1)' 10 | 420.0 | 'PRBMX(3,1)' |
| 150.0 | 'PRAMN(2,1)' | 0.0 | 'PRBMX(1,2)' |
| 190.0 | 'PRAMN(3,1)' | 0.0 | 'PRBMX(2,2)' |
| 62.5 | 'PRAMN(1,2)' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' 0.02 |
| 150.0 | 'PRAMN(2,2)' | 0.02 | 'FLIGNI(1,1)' |
| 150.0 | 'PRAMN(3,2)' | 0.0012 | 'FLIGNI(2,1)' 0.0012 |
| 55.0 | 'PRAMX(1,1)' 20 | 0.12 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 230.0 | 'PRAMX(2,1)' | -0.0015 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 230.0 | 'PRAMX(3,1)' | 0.0 | 'HIMAX' |
| 125.0 | 'PRAMX(1,2)' | 0.0 | 'HIWSF' |
| 230.0 | 'PRAMX(2,2)' | 2.0 | 'HIMON(1)' |
| 230.0 | 'PRAMX(3,2)' | 1.0 | 'HIMON(2)' |
| 45.0 | 'PRBMN(1,1)' | 0.0 | 'EFRGRN(1)' |
| 390.0 | 'PRBMN(2,1)' | 0.0 | 'EFRGRN(2)' |
| 340.0 | 'PRBMN(3,1)' | 0.0 | 'EFRGRN(3)' |
| 0.0 | 'PRBMN(1,2)' | 0.15 | 'VLOSSP' |
| 0.0 | 'PRBMN(2,2)' | 0.2 | 'FSDETH(1)' |
| 0.0 | 'PRBMN(3,2)' | 0.95 | 'FSDETH(2)' |
| 60.0 | 'PRBMX(1,1)' | 0.2 | 'FSDETH(3)' |
| 420.0 | 'PRBMX(2,1)' | 150.0 | 'FSDETH(4)' |
| 420.0 | 'PRBMX(3,1)' | 0.15 | 'FALLRT' |
| 0.0 | 'PRBMX(1,2)' | 0.15 | 'RDR' |
| 0.0 | 'PRBMX(2,2)' | 2.0 | 'RTDTMP' |
| POU | pousio | 0.30 | 'CRPRTF(1)' |
| 90.0 | 'PRDX(1)' | 0.0 | 'CRPRTF(2)' |
| 27.0 | 'PPDF(1)' | 0.0 | 'CRPRTF(3)' |
| 45.0 | 'PPDF(2)' | 0.0 | 'SNFXMX(1)' |
| 1.0 | 'PPDF(3)' | -18.0 | 'DEL13C' |
| 3.0 | 'PPDF(4)' | 1.075 | 'CO2IPR(1)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 0.77 | 'CO2ITR(1)' |
| 60.0 | 'BIOK5' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 1.0 | 'PLTMRF' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 100.0 | 'FULCAN' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 0.0 | 'FRTC(1)' | 1.075 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.0 | 'FRTC(2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 0.0 | 'FRTC(3)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 400.0 | 'BIOMAX' | 1.0 | 'CO2IRS(1)' |
| 30.0 | 'PRAMN(1,1)' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' |
| 390.0 | 'PRAMN(2,1)' | 0.12 | 'FLIGNI(1,1)' |
| 340.0 | 'PRAMN(3,1)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' |
| 90.0 | 'PRAMN(1,2)' | 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 390.0 | 'PRAMN(2,2)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 340.0 | 'PRAMN(3,2)' | | continua... |

| | | | |
|-----------|-----------------|--------|-----------------|
| 0.30 | 'HIMAX' | 60.0 | 'PRBMX(1,1)' |
| 0.0 | 'HIWSF' | 420.0 | 'PRBMX(2,1)' |
| 2.0 | 'HIMON(1)' | 420.0 | 'PRBMX(3,1)' |
| 1.0 | 'HIMON(2)' | 0.0 | 'PRBMX(1,2)' |
| 0.70 | 'EFRGRN(1)' | 0.0 | 'PRBMX(2,2)' |
| 0.6 | 'EFRGRN(2)' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' |
| 0.6 | 'EFRGRN(3)' | 0.15 | 'FLIGNI(1,1)' |
| 0.04 | 'VLOSSP' | 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' |
| 0.0 | 'FSDETH(1)' | 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 0.0 | 'FSDETH(2)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 0.0 | 'FSDETH(3)' | 0.35 | 'HIMAX' |
| 500.0 | 'FSDETH(4)' | 0.42 | 'HIWSF' |
| 0.1 | 'FALLRT' | 1.0 | 'HIMON(1)' |
| 0.05 | 'RDR' | 1.0 | 'HIMON(2)' |
| 2.0 | 'RTDTMP' | 0.6 | 'EFRGRN(1)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(1)' | 0.6 | 'EFRGRN(2)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(2)' | 0.6 | 'EFRGRN(3)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(3)' | 0.04 | 'VLOSSP' |
| 0.0 | 'SNFXMX(1)' | 0.0 | 'FSDETH(1)' |
| -15.0 | 'DEL13C' | 0.0 | 'FSDETH(2)' |
| 1.0 | 'CO2IPR(1)' | | continua... |
| 0.77 | 'CO2ITR(1)' | 0.0 | 'FSDETH(3)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' | 200.0 | 'FSDETH(4)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' | 0.12 | 'FALLRT' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' | 0.05 | 'RDR' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,2,1)' | 2.0 | 'RTDTMP' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' | 0.0 | 'CRPRTF(1)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' | 0.0 | 'CRPRTF(2)' |
| 1.0 | 'CO2IRS(1)' | 0.0 | 'CRPRTF(3)' |
| T3L Trigo | | 0.0 | 'SNFXMX(1)' |
| 90.0 | 'PRDX(1)' | -27.0 | 'DEL13C' |
| 18.0 | 'PPDF(1)' | 1.3 | 'CO2IPR(1)' |
| 35.0 | 'PPDF(2)' | 0.77 | 'CO2ITR(1)' |
| 0.7 | 'PPDF(3)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 5.0 | 'PPDF(4)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 1800.0 | 'BIOK5' | 1.3 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.4 | 'PLTMRF' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 150.0 | 'FULCAN' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 0.6 | 'FRTC(1)' | 1.0 | 'CO2IRS(1)' |
| 0.1 | 'FRTC(2)' | | E Weeds |
| 3.0 | 'FRTC(3)' | 250.0 | 'PRDX(1)' |
| 600.0 | 'BIOMAX' | 27.0 | 'PPDF(1)' |
| 12.0 | 'PRAMN(1,1)' | 45.0 | 'PPDF(2)' |
| 100.0 | 'PRAMN(2,1)' | 1.0 | 'PPDF(3)' |
| 100.0 | 'PRAMN(3,1)' | 3.0 | 'PPDF(4)' |
| 40.0 | 'PRAMN(1,2)' | 0.0 | 'BIOFLG' |
| 160.0 | 'PRAMN(2,2)' | 1800.0 | 'BIOK5' |
| 200.0 | 'PRAMN(3,2)' | 0.2 | 'PLTMRF' |
| 25.0 | 'PRAMX(1,1)' | 100.0 | 'FULCAN' |
| 200.0 | 'PRAMX(2,1)' | 0.3 | 'FRTC(1)' |
| 230.0 | 'PRAMX(3,1)' | 0.3 | 'FRTC(2)' |
| 100.0 | 'PRAMX(1,2)' | 1.0 | 'FRTC(3)' |
| 260.0 | 'PRAMX(2,2)' | 400.0 | 'BIOMAX' |
| 270.0 | 'PRAMX(3,2)' | 30.0 | 'PRAMN(1,1)' |
| 45.0 | 'PRBMN(1,1)' | 390.0 | 'PRAMN(2,1)' |
| 390.0 | 'PRBMN(2,1)' | 340.0 | 'PRAMN(3,1)' |
| 340.0 | 'PRBMN(3,1)' | 90.0 | 'PRAMN(1,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(1,2)' | 390.0 | 'PRAMN(2,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(2,2)' | 340.0 | 'PRAMN(3,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(3,2)' | | continua... |

| | | | |
|--------|---------------------------------|-------|--|
| 35.0 | 'PRAMX(1,1) | 0.25 | 'FRTC(1)' 1/17/02 saw |
| 440.0 | 'PRAMX(2,1)' | 0.25 | 'FRTC(2)' 1/17/02 saw |
| 440.0 | 'PRAMX(3,1)' | 1.0 | 'FRTC(3)' 1/17/02 saw |
| 95.0 | 'PRAMX(1,2)' | 800.0 | 'BIOMAX' |
| 440.0 | 'PRAMX(2,2)' | 7.55 | 'PRAMN(1,1)' |
| 440.0 | 'PRAMX(3,2)' | 150.0 | 'PRAMN(2,1)' |
| 50.0 | 'PRBMN(1,1)' | 190.0 | 'PRAMN(3,1)' |
| 390.0 | 'PRBMN(2,1)' | 30.0 | 'PRAMN(1,2)' |
| 340.0 | 'PRBMN(3,1)' | 150.0 | 'PRAMN(2,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(1,2)' | 150.0 | 'PRAMN(3,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(2,2)' | 10.0 | 'PRAMX(1,1)' |
| 0.0 | 'PRBMN(3,2)' | 230.0 | 'PRAMX(2,1)' |
| 55.0 | 'PRBMX(1,1)' | 230.0 | 'PRAMX(3,1)' |
| 420.0 | 'PRBMX(2,1)' | 40.0 | 'PRAMX(1,2)' |
| 420.0 | 'PRBMX(3,1)' | 230.0 | 'PRAMX(2,2)' |
| 0.0 | 'PRBMX(1,2)' | 230.0 | 'PRAMX(3,2)' |
| 0.0 | 'PRBMX(2,2)' | 24.0 | 'PRBMN(1,1)' |
| 0.0 | 'PRBMX(3,2)' | 390.0 | 'PRBMN(2,1)' |
| 0.05 | 'FLIGNI(1,1)' | 340.0 | 'PRBMN(3,1)' |
| 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' | 0.0 | 'PRBMN(1,2)' |
| 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' | 0.0 | 'PRBMN(2,2)' |
| 0.1 | 'FLIGNI(2,2)' | 0.0 | 'PRBMN(3,2)' |
| 0.0 | 'HIMAX' | 28.0 | 'PRBMX(1,1)' |
| 0.0 | 'HIWSF' | 420.0 | 'PRBMX(2,1)' |
| 2.0 | 'HIMON(1)' | 420.0 | 'PRBMX(3,1)' |
| 1.0 | 'HIMON(2)' | 0.0 | 'PRBMX(1,2)' |
| 0.0 | 'EFRGRN(1)' | 0.0 | 'PRBMX(2,2)' |
| 0.0 | 'EFRGRN(2)' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' |
| 0.0 | 'EFRGRN(3)' | 0.06 | 'FLIGNI(1,1)' .12 KP |
| 0.15 | 'VLOSSP' | 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' |
| 0.2 | 'FSDETH(1)' | 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 0.95 | 'FSDETH(2)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 0.2 | 'FSDETH(3)' | 0.5 | 'HIMAX' 1/17/02 saw |
| 150.0 | 'FSDETH(4)' | 0.30 | 'HIWSF' 1/17/02 saw. Changed from 0.40, MJE 10/3/02. |
| 0.18 | 'FALLRT' | 1.0 | 'HIMON(1)' 1/17/02 saw |
| 0.05 | 'RDR' | 0.0 | 'HIMON(2)' 1/17/02 saw |
| 2.0 | 'RTDTMP' | 0.75 | 'EFRGRN(1)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(1)' | 0.6 | 'EFRGRN(2)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(2)' | 0.6 | 'EFRGRN(3)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(3)' | 0.04 | 'VLOSSP' |
| 0.0 | 'SNFXMX(1)' | 0.0 | 'FSDETH(1)' |
| -18.0 | 'DEL13C' | 0.0 | 'FSDETH(2)' |
| 1.075 | 'CO2IPR(1)' | 0.0 | 'FSDETH(3)' |
| 0.77 | 'CO2ITR(1)' | 500.0 | 'FSDETH(4)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' | 0.1 | 'FALLRT' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' | 0.05 | 'RDR' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' | 2.0 | 'RTDTMP' |
| 1.075 | 'CO2ICE(1,2,1)' | 0.0 | 'CRPRTF(1)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' | 0.0 | 'CRPRTF(2)' |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' | 0.0 | 'CRPRTF(3)' |
| 1.0 | 'CO2IRS(1)' | 0.0 | 'SNFXMX(1)' |
| TOB | Tomato (Tomato grown in Jordan) | 0.0 | 'DEL13C' |
| | FUMO | -27.0 | 'CO2IPR(1)' |
| 215.0 | 'PRDX(1)' 1/17/02 saw 250 | 1.3 | 'CO2ITR(1)' |
| 27.0 | 'PPDF(1)' | 0.77 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 40.0 | 'PPDF(2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 1.0 | 'PPDF(3)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 2.5 | 'PPDF(4)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 1.3 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 1800.0 | 'BIOK5' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 1.0 | 'PLTMRF' | 1.0 | |
| 150.0 | 'FULCAN' | 1.0 | |

| | | | |
|--------|---------------|--------|-----------------|
| 1.0 | 'CO2IRS(1) | -27.0 | 'DEL13C' |
| AVEIA | Aveia | 1.3 | 'CO2IPR(1)' |
| 110.0 | 'PRDX(1)' | 0.77 | 'CO2ITR(1)' |
| 18.0 | 'PPDF(1)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 35.0 | 'PPDF(2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 0.7 | 'PPDF(3)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 5.0 | 'PPDF(4)' | 1.3 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 1800.0 | 'BIOK5' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 0.4 | 'PLTMRF' | 1.0 | 'CO2IRS(1)' |
| 150.0 | 'FULCAN' | MILHO | Milho corn C4 |
| 0.6 | 'FRTC(1)' | 700.0 | 'PRDX(1)' |
| 0.1 | 'FRTC(2)' | 30.0 | 'PPDF(1)' |
| 3.0 | 'FRTC(3)' | 45.0 | 'PPDF(2)' |
| 600.0 | 'BIOMAX' | 1.0 | 'PPDF(3)' |
| 12.0 | 'PRAMN(1,1)' | 2.5 | 'PPDF(4)' |
| 100.0 | 'PRAMN(2,1)' | 0.0 | 'BIOFLG' |
| 100.0 | 'PRAMN(3,1)' | 1800.0 | 'BIOK5' |
| 40.0 | 'PRAMN(1,2)' | 0.5 | 'PLTMRF' |
| 160.0 | 'PRAMN(2,2)' | 150.0 | 'FULCAN' |
| 200.0 | 'PRAMN(3,2)' | 0.5 | 'FRTC(1)' |
| 25.0 | 'PRAMX(1,1)' | 0.1 | 'FRTC(2)' |
| 200.0 | 'PRAMX(2,1)' | 3.0 | 'FRTC(3)' |
| 230.0 | 'PRAMX(3,1)' | 700.0 | 'BIOMAX' |
| 100.0 | 'PRAMX(1,2)' | 10.0 | 'PRAMN(1,1)' |
| 260.0 | 'PRAMX(2,2)' | 150.0 | 'PRAMN(2,1)' |
| 270.0 | 'PRAMX(3,2)' | 190.0 | 'PRAMN(3,1)' |
| 45.0 | 'PRBMN(1,1)' | 62.5 | 'PRAMN(1,2)' |
| 390.0 | 'PRBMN(2,1)' | 150.0 | 'PRAMN(2,2)' |
| 340.0 | 'PRBMN(3,1)' | 150.0 | 'PRAMN(3,2)' |
| 0.0 | 'PRBMN(1,2)' | 20.0 | 'PRAMX(1,1)' |
| 0.0 | 'PRBMN(2,2)' | 230.0 | 'PRAMX(2,1)' |
| 0.0 | 'PRBMN(3,2)' | 230.0 | 'PRAMX(3,1)' |
| 60.0 | 'PRBMX(1,1)' | 125.0 | 'PRAMX(1,2)' |
| 420.0 | 'PRBMX(2,1)' | 230.0 | 'PRAMX(2,2)' |
| 420.0 | 'PRBMX(3,1)' | 230.0 | 'PRAMX(3,2)' |
| 0.0 | 'PRBMX(1,2)' | 45.0 | 'PRBMN(1,1)' |
| 0.0 | 'PRBMX(2,2)' | 390.0 | 'PRBMN(2,1)' |
| 0.0 | 'PRBMX(3,2)' | 340.0 | 'PRBMN(3,1)' |
| 0.15 | 'FLIGNI(1,1)' | 0.0 | 'PRBMN(1,2)' |
| 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' | 0.0 | 'PRBMN(2,2)' |
| 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' | 0.0 | 'PRBMN(3,2)' |
| 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' | 60.0 | 'PRBMX(1,1)' |
| 0.35 | 'HIMAX' | 420.0 | 'PRBMX(2,1)' |
| 0.42 | 'HIWSF' | 420.0 | 'PRBMX(3,1)' |
| 1.0 | 'HIMON(1)' | 0.0 | 'PRBMX(1,2)' |
| 1.0 | 'HIMON(2)' | 0.0 | 'PRBMX(2,2)' |
| 0.6 | 'EFRGRN(1)' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' |
| 0.6 | 'EFRGRN(2)' | 0.12 | 'FLIGNI(1,1)' |
| 0.6 | 'EFRGRN(3)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' |
| 0.04 | 'VLOSSP' | 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 0.0 | 'FSDETH(1)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 0.0 | 'FSDETH(2)' | 0.4 | 'HIMAX' |
| 0.0 | 'FSDETH(3)' | 0.0 | 'HIWSF' |
| 200.0 | 'FSDETH(4)' | 2.0 | 'HIMON(1)' |
| 0.12 | 'FALLRT' | 1.0 | 'HIMON(2)' |
| 0.05 | 'RDR' | 0.75 | 'EFRGRN(1)' |
| 2.0 | 'RTDTMP' | 0.6 | 'EFRGRN(2)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(1)' | 0.6 | 'EFRGRN(3)' |
| 0.0 | 'CRPRTF(2)' | 0.04 | 'VLOSSP' |
| 0.0 | 'CRPRTF(3)' | | continua... |
| 0.0 | 'SNFXMX(1)' | | |

| | | | |
|---------|--------------------|-------------|-----------------|
| 0.0 | 'FSDETH(1)' | 0.15 | 'VLOSSP' |
| 0.0 | 'FSDETH(2)' | 0.2 | 'FSDETH(1)' |
| 0.0 | 'FSDETH(3)' | 0.95 | 'FSDETH(2)' |
| 500.0 | 'FSDETH(4)' | 0.2 | 'FSDETH(3)' |
| 0.1 | 'FALLRT' | 150.0 | 'FSDETH(4)' |
| 0.05 | 'RDR' | 0.15 | 'FALLRT' |
| 2.0 | 'RTDTMP' | 0.15 | 'RDR' |
| 0.0 | 'CRPRTF(1)' | 2.0 | 'RTDTMP' |
| 0.0 | 'CRPRTF(2)' | 0.30 | 'CRPRTF(1)' |
| POU | pousio arvorezinha | 0.0 | 'CRPRTF(2)' |
| 90.0 | 'PRDX(1)' | 0.0 | 'CRPRTF(3)' |
| 27.0 | 'PPDF(1)' | 0.0 | 'SNFXMX(1)' |
| 45.0 | 'PPDF(2)' | -18.0 | 'DEL13C' |
| 1.0 | 'PPDF(3)' | 1.075 | 'CO2IPR(1)' |
| 3.0 | 'PPDF(4)' | 0.77 | 'CO2ITR(1)' |
| 0.0 | 'BIOFLG' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 60.0 | 'BIOK5' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 1.0 | 'PLTMRF' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 100.0 | 'FULCAN' | 1.075 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.0 | 'FRTC(1)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 0.0 | 'FRTC(2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 0.0 | 'FRTC(3)' | 1.0 | 'CO2IRS(1)' |
| 400.0 | 'BIOMAX' | 0.0 | 'PRBMX(3,2)' |
| 30.0 | 'PRAMN(1,1)' | 0.12 | 'FLIGNI(1,1)' |
| 390.0 | 'PRAMN(2,1)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,1)' |
| 340.0 | 'PRAMN(3,1)' | 0.06 | 'FLIGNI(1,2)' |
| 90.0 | 'PRAMN(1,2)' | 0.0 | 'FLIGNI(2,2)' |
| 390.0 | 'PRAMN(2,2)' | 0.30 | 'HIMAX' |
| 340.0 | 'PRAMN(3,2)' | 0.0 | 'HIWSF' |
| 35.0 | 'PRAMX(1,1)' | 2.0 | 'HIMON(1)' |
| 440.0 | 'PRAMX(2,1)' | 1.0 | 'HIMON(2)' |
| 440.0 | 'PRAMX(3,1)' | 0.70 | 'EFRGRN(1)' |
| 95.0 | 'PRAMX(1,2)' | 0.6 | 'EFRGRN(2)' |
| 440.0 | 'PRAMX(2,2)' | 0.6 | 'EFRGRN(3)' |
| 440.0 | 'PRAMX(3,2)' | 0.04 | 'VLOSSP' |
| 50.0 | 'PRBMN(1,1)' | 0.0 | 'FSDETH(1)' |
| 390.0 | 'PRBMN(2,1)' | 0.0 | 'FSDETH(2)' |
| 340.0 | 'PRBMN(3,1)' | 0.0 | 'FSDETH(3)' |
| 0.0 | 'PRBMN(1,2)' | 500.0 | 'FSDETH(4)' |
| 0.0 | 'PRBMN(2,2)' | 0.1 | 'FALLRT' |
| 0.0 | 'PRBMN(3,2)' | 0.05 | 'RDR' |
| 55.0 | 'PRBMX(1,1)' | 2.0 | 'RTDTMP' |
| 420.0 | 'PRBMX(2,1)' | 0.0 | 'CRPRTF(1)' |
| 420.0 | 'PRBMX(3,1)' | 0.0 | 'CRPRTF(2)' |
| 0.0 | 'PRBMX(1,2)' | 0.0 | 'CRPRTF(3)' |
| 0.0 | 'PRBMX(2,2)' | 0.0 | 'SNFXMX(1)' |
| 0.0 | 'PRBMX(3,2)' | -15.0 | 'DEL13C' |
| 0.02 | 'FLIGNI(1,1)' | 1.0 | 'CO2IPR(1)' |
| 0.0012 | 'FLIGNI(2,1)' | 0.77 | 'CO2ITR(1)' |
| 0.12 | 'FLIGNI(1,2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| -0.0015 | 'FLIGNI(2,2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 0.0 | 'HIMAX' | 1.0 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 0.0 | 'HIWSF' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 2.0 | 'HIMON(1)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 1.0 | 'HIMON(2)' | 1.0 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 0.0 | 'EFRGRN(1)' | 1.0 | 'CO2IRS(1)' |
| 0.0 | 'EFRGRN(2)' | 1.0 | |
| 0.0 | 'EFRGRN(3)' | | |
| 0.15 | 'FALLRT' | | |
| 0.15 | 'RDR' | | |
| 0.77 | 'CO2ITR(1)' | | |
| 1.0 | 'CO2ICE(1,1,1)' | | |

APÊNDICE 5. Parâmetros do arquivo TREE.100 do modelo *Century* utilizados nas simulações de equilíbrio – parametrização do modelo.

| | | | |
|---------------------------|----------------------|------------|-----------------|
| Floresta – Equilíbrio | | 106.00000 | 'CERFOR(2,2,3)' |
| BLEAF Temperate_Broadleaf | | 200.00000 | 'CERFOR(2,3,1)' |
| Evergreen | | 933.00000 | 'CERFOR(2,3,2)' |
| 0.00000 | 'DECID' | 933.00000 | 'CERFOR(2,3,2)' |
| 9999.00000 | 'PRDX(3)' | 81.00000 | 'CERFOR(2,3,3)' |
| 108.50000 | 'PRDX(4)' 250 | 600.50000 | 'CERFOR(2,4,1)' |
| 30.00000 | 'PPDF(1)' | 1369.50000 | 'CERFOR(2,4,2)' |
| 45.00000 | 'PPDF(2)' | 157.50000 | 'CERFOR(2,4,3)' |
| 1.00000 | 'PPDF(3)' | 600.00000 | 'CERFOR(2,5,1)' |
| 2.50000 | 'PPDF(4)' | 1655.50000 | 'CERFOR(2,5,2)' |
| 20.00000 | 'CERFOR(1,1,1)' | 137.50000 | 'CERFOR(2,5,3)' |
| 548.50000 | 'CERFOR(1,1,2)' | 49.50000 | 'CERFOR(3,1,1)' |
| 70.00000 | 'CERFOR(1,1,3)' | 548.00000 | 'CERFOR(3,1,2)' |
| 40.00000 | 'CERFOR(1,2,1)' | 70.00000 | 'CERFOR(3,1,3)' |
| 632.50000 | 'CERFOR(1,2,2)' | 63.00000 | 'CERFOR(3,2,1)' |
| 106.00000 | 'CERFOR(1,2,3)' | 632.50000 | 'CERFOR(3,2,2)' |
| 120.00000 | 'CERFOR(1,3,1)' | 106.00000 | 'CERFOR(3,2,3)' |
| 933.50000 | 'CERFOR(1,3,2)' | 91.50000 | 'CERFOR(3,3,1)' |
| 81.00000 | 'CERFOR(1,3,3)' | 933.00000 | 'CERFOR(3,3,2)' |
| 200.00000 | 'CERFOR(1,4,1)' | 81.00000 | 'CERFOR(3,3,3)' |
| 1369.50000 | 'CERFOR(1,4,2)' | 147.50000 | 'CERFOR(3,4,1)' |
| 157.00000 | 'CERFOR(1,4,3)' | 1369.50000 | 'CERFOR(3,4,2)' |
| 200.00000 | 'CERFOR(1,5,1)' | 157.00000 | 'CERFOR(3,4,3)' |
| 1655.50000 | 'CERFOR(1,5,2)' | 119.00000 | 'CERFOR(3,5,1)' |
| 135.50000 | 'CERFOR(1,5,3)' | 1655.50000 | 'CERFOR(3,5,2)' |
| 60.00000 | 'CERFOR(2,1,1)' | 137.50000 | 'CERFOR(3,5,3)' |
| 548.00000 | 'CERFOR(2,1,2)' | 1.50000 | 'DECW1' |
| 70.00000 | 'CERFOR(2,1,3)' | 0.50000 | 'DECW2' |
| 80.00000 | 'CERFOR(2,2,1)' | 0.60000 | 'DECW3' |
| 632.50000 | 'CERFOR(2,2,2)' | | continua.... |

| | | | |
|----------|---------------|------------|-----------------|
| 0.29500 | 'FCFRAC(1,1)' | 0.00000 | 'FORRTF(3)' |
| 0.32500 | 'FCFRAC(2,1)' | 1.00000 | 'SAPK' |
| 0.09500 | 'FCFRAC(3,1)' | 0.00000 | 'SWOLD' |
| 0.22500 | 'FCFRAC(4,1)' | 0.18650 | 'WDLIG(1)' |
| 0.06000 | 'FCFRAC(5,1)' | 0.26500 | 'WDLIG(2)' |
| 0.28000 | 'FCFRAC(1,2)' | 0.30000 | 'WDLIG(3)' |
| 0.26500 | 'FCFRAC(2,2)' | 0.30000 | 'WDLIG(4)' |
| 0.10500 | 'FCFRAC(3,2)' | 0.30000 | 'WDLIG(5)' |
| 0.27000 | 'FCFRAC(4,2)' | 1.00000 | 'WOODDR(1)' |
| 0.08000 | 'FCFRAC(5,2)' | 0.03500 | 'WOODDR(2)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(1)' | 0.01000 | 'WOODDR(3)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(2)' | 0.00160 | 'WOODDR(4)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(3)' | 0.00200 | 'WOODDR(5)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(4)' | 0.00000 | 'SNFXMX(2)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(5)' | 0.00000 | 'DEL13C' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(6)' | 1.20000 | 'CO2IPR' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(7)' | 0.80000 | 'CO2ITR' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(8)' | 1.20000 | 'CO2ICE(1,1,1)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(9)' | 1.00000 | 'CO2ICE(1,1,2)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(10)' | 1.00000 | 'CO2ICE(1,1,3)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(11)' | 1.20000 | 'CO2ICE(1,2,1)' |
| 0.05000 | 'LEAFDR(12)' | 1.00000 | 'CO2ICE(1,2,2)' |
| 0.00900 | 'BTOLAI' | 1.00000 | 'CO2ICE(1,2,3)' |
| 1.00000 | 'KLAI' | 1.00000 | 'CO2IRS' |
| -0.47000 | 'LAITOP' | 1.00000 | 'BASFC2' |
| 20.00000 | 'MAXLAI' | 400.00000 | 'BASFACT' |
| 1.00000 | 'MAXLDR' | 2400.00000 | 'SITPOT' |
| 0.50000 | 'FORRTF(1)' | | |
| 0.00000 | 'FORRTF(2)' | | |

Nota: Parâmetro em negrito tem seu valor modificado do default do modelo Century

APÊNDICE 6. Organização do arquivo Alissolo_1925_2055.SCH formando o cenário de manejo de floresta nativa, agricultura de subsistência (PC com milho e trigo), pousio de 5 anos, PC com fumo/pousio, pousio de 10 anos, PC com fumo/aveia e CM com fumo/aveia utilizado pelo modelo *Century* nas simulações dos solos da UM 1, no período de 1925 a 2055

```

0      Starting year
6136   Last year
floresta.100 Site file name
0      Labeling type
-1     Labeling year
-1.00  Microcosm
-1     CO2 Systems
2      Initial system
T3L    Initial crop
BLEAF  Initial tree

Year Month Option
1      Block # FLORESTA
6000   Last year
1      Repeats # years
0      Output starting year
1      Output month
500.0  Output interval
M      Weather choice
1 1 TFST
1 1 TREE BLEAF
1 2 TREE BLEAF
1 3 TREE BLEAF
1 4 TREE BLEAF
1 5 TREE BLEAF
1 6 TREE BLEAF
1 7 TREE BLEAF
1 8 TREE BLEAF
1 9 TREE BLEAF
1 10 TREE BLEAF
1 11 TREE BLEAF
1 12 TREE BLEAF
1 12 TLST
-999 -999 X
2      Block # REMOÇÃO DA MATA
6002   Last year
1      Repeats # years
6001   Output starting year
1      Output month
0.0833 Output interval
M      Weather choice
1 1 TFST
1 1 TREE BLEAF
1 2 TREE BLEAF
1 3 TREE BLEAF
1 4 TREE BLEAF
1 5 TREE BLEAF
1 6 TREE BLEAF
1 7 TREE BLEAF
1 8 TREE BLEAF
1 9 TREE BLEAF

```

continua...

1 10 TREM CCORTE
 1 12 TREM CFOGO
 -999 -999 X
 3 Block # INICIO AGRICULTURA, culturas subsistência 1925-1935
 6013 Last year
 1 Repeats # years
 6003 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice

 1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP T3L
 1 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPDAM
 1 10 CULT HT-7 10 FRST 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 4 Block # POUSIO ARVOREZINHA 1936-1945
 6024 Last year
 1 Repeats # years
 6014 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GL
 1 2 GRAZ GL
 1 3 GRAZ GL
 1 4 GRAZ GL
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GL
 1 6 GRAZ GL
 1 7 GRAZ GL
 1 8 GRAZ GL
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GL
 1 10 GRAZ GL
 1 11 GRAZ GL
 1 12 GRAZ GL
 -999 -999 X
 5 Block # Agricultura Subsistência 1946-1955
 6035 Last year
 1 Repeats # years
 6025 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice

 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP T3L
 1 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPDAM
 1 10 CULT HT-7 10 FRST 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 6 Block # POUSIO ARVOREZINHA 1956-1965
 6045 Last year
 1 Repeats # years
 6036 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GL

continua...

1 2 GRAZ GL
 1 3 GRAZ GL
 1 4 GRAZ GL
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GL
 1 6 GRAZ GL
 1 7 GRAZ GL
 1 8 GRAZ GL
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GL
 1 10 GRAZ GL
 1 11 GRAZ GL
 1 12 GRAZ GL
 -999 -999 X
 7 Block # lavoura fumo-pousio 1966-1975
 6055 Last year
 2 Repeats # years
 6046 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 8 Block # Pousio 1976-1985
 6065 Last year
 1 Repeats # years
 6056 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GL
 1 2 GRAZ GL
 1 3 GRAZ GL
 1 4 GRAZ GL
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GL
 1 6 GRAZ GL
 1 7 GRAZ GL
 1 8 GRAZ GL
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GL
 1 10 GRAZ GL
 1 11 GRAZ GL
 1 12 GRAZ GL
 -999 -999 X
 9 Block # fumo-pousio 1986-1990
 6070 Last year
 2 Repeats # years

continua...

6066 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 10 Block # Pousio 1991-1995
 6075 Last year
 1 Repeats # years
 6071 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GL
 1 2 GRAZ GL
 1 3 GRAZ GL
 1 4 GRAZ GL
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GL
 1 6 GRAZ GL
 1 7 GRAZ GL
 1 8 GRAZ GL
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GL
 1 10 GRAZ GL
 1 11 GRAZ GL
 1 12 GRAZ GL
 -999 -999 X
 11 Block # fumo-pousio 1996-2000
 6080 Last year
 2 Repeats # years
 6076 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 12 Block # fumo-aveia 2001-2005
 6085 Last year
 2 Repeats # years
 6081 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice

continua...

1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA
 1 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA
 2 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.2
 -999 -999 X
 13 Block # fumo-aveia cultivo mínimo 2005-2055
 6136 Last year
 1 Repeats # years
 6086 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA
 1 4 CULT AT- 7 4 FRST 8 LAST 9 CULT N 9 CULT HT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT N 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 0.6
 -999 -999 X

APÊNDICE 7. Parâmetros do arquivo GRAZ.100 do modelo *Century* utilizados nas simulações de pousio de 5 e 10 anos nos solos da PBHR

GL Pastagem leve, sem alteração no rendimento da pastagem

| | |
|---------|-----------|
| 0.10000 | 'FLGREM' |
| 0.05000 | 'FDGREM' |
| 0.30000 | 'GFCRET' |
| 0.80000 | 'GRET(1)' |
| 0.95000 | 'GRET(2)' |
| 0.95000 | 'GRET(3)' |
| 0.00000 | 'GRZEFF' |
| 0.50000 | 'FECF(1)' |
| 0.90000 | 'FECF(2)' |
| 0.50000 | 'FECF(3)' |
| 0.25000 | 'FECLIG' |

APÊNDICE 8. Organização do arquivo Cambissolo_1965_2055.SCH formando o cenário de manejo de floresta nativa, PC com fumo/pousio, pousio de 10 anos, pousio de 5 anos, PC com fumo/aveia e PD fumo/aveia utilizado pelo modelo *Century* nas simulações dos solos da UM 2, no período de 1965 a 2055

```

0      Starting year
6096   Last year
floresta.100 Site file name
0      Labeling type
-1     Labeling year
-1.00  Microcosm
-1     CO2 Systems
2      Initial system
POU    Initial crop
BLEAF  Initial tree

Year Month Option
1      Block # FLORESTA
6000   Last year
1      Repeats # years
0      Output starting year
1      Output month
500.0  Output interval
M      Weather choice
1 1 TFST
1 1 TREE BLEAF
1 2 TREE BLEAF
1 3 TREE BLEAF
1 4 TREE BLEAF
1 5 TREE BLEAF
1 6 TREE BLEAF
1 7 TREE BLEAF
1 8 TREE BLEAF
1 9 TREE BLEAF
1 10 TREE BLEAF
1 11 TREE BLEAF
1 12 TREE BLEAF
1 12 TLST
-999 -999 X
2      Block # REMOÇÃO DA MATA
6002   Last year
1      Repeats # years
6001   Output starting year
1      Output month
0.0833 Output interval
M      Weather choice
1 1 TFST
1 1 TREE BLEAF
1 2 TREE BLEAF
1 3 TREE BLEAF
1 4 TREE BLEAF
1 5 TREE BLEAF
1 6 TREE BLEAF
1 7 TREE BLEAF
1 8 TREE BLEAF
1 9 TREE BLEAF
1 10 TREM CCORTE

```

continua...

1 12 TREM CFOGO
 -999 -999 X
 3 Block # INICIO AGRICULTURA, fumo-pousio 1965-1975
 6013 Last year
 2 Repeats # years
 6003 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 -999 -999 X
 4 Block # POUSIO ARVOREZINHA 1975-1985
 6024 Last year
 1 Repeats # years
 6014 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GM
 1 2 GRAZ GM
 1 3 GRAZ GM
 1 4 GRAZ GM
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GM
 1 6 GRAZ GM
 1 7 GRAZ GM
 1 8 GRAZ GM
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GM
 1 10 GRAZ GM
 1 11 GRAZ GM
 1 12 GRAZ GM
 -999 -999 X
 5 Block # fumo-pousio 1986-1990
 6030 Last year
 2 Repeats # years
 6025 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 -999 -999 X
 6 Block # POUSIO ARVOREZINHA 1991-1995
 6035 Last year

continua...

1 Repeats # years
 6031 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 GRAZ GM
 1 2 GRAZ GM
 1 3 GRAZ GM
 1 4 GRAZ GM
 1 4 LAST
 1 5 SENM
 1 5 GRAZ GM
 1 6 GRAZ GM
 1 7 GRAZ GM
 1 8 GRAZ GM
 1 9 CROP E
 1 9 FRST
 1 9 GRAZ GM
 1 10 GRAZ GM
 1 11 GRAZ GM
 1 12 GRAZ GM
 -999 -999 X
 7 Block # lavoura fumo-pousio 1996-2000
 6040 Last year
 2 Repeats # years
 6036 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 1 FIRE M 2 CULT P 3 CULT A 4 PLTM 4 CROP POU
 1 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP POU
 2 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 -999 -999 X
 8 Block # fumo-aveia 2001-2005
 6045 Last year
 2 Repeats # years
 6041 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 M Weather choice
 1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA
 1 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 1 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 1 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA
 2 4 CULT RF 4 FRST 8 LAST 9 CULT P 9 CULT AT-7 10 CULT A
 2 10 CULT H 10 CULT P 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB
 2 10 CULT AT-7 10 FRST 11 CULT H 11 CULT A 12 EROD 1.8
 -999 -999 X
 8 Block # fumo-aveia 2005-2055 PLANTIO DIRETO
 6096 Last year
 2 Repeats # years
 6046 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval

continua...

M Weather choice

1 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA

1 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT N 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB

1 10 CULT HT-7 10 FRST 12 EROD 0.18

2 2 LAST 2 HARV H 4 PLTM 4 CROP AVEIA

2 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT N 10 FERT MAX 10 PLTM 10 CROP TOB

2 10 CULT HT-7 10 FRST 12 EROD 0.18

-999 -999 X
