

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

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS
IRRIGADOS POR ASPERSÃO SOB PLANTIO DIRETO
E PREPARO CONVENCIONAL**

Fabiano Daniel De Bona
(Dissertação de Mestrado)

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

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS
IRRIGADOS POR ASPERSÃO SOB PLANTIO DIRETO
E PREPARO CONVENCIONAL**

FABIANO DANIEL DE BONA
Engenheiro Agrônomo (UFSM)

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

Porto Alegre (RS), Brasil
Janeiro, 2005

CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

D287d De Bona, Fabiano Daniel
Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional / Fabiano Daniel De Bona. — Porto Alegre : F.D. De Bona, 2005.

xviii, 130f. : il.

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

1. Solo : Matéria orgânica : Irrigação por aspersão : Plantio direto : Plantio convencional. I. Título.

CDD: 631.46

CDU: 631.4

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

FABIANO DANIEL DE BONA
Engenheiro Agrônomo - UFSM

DISSERTAÇÃO

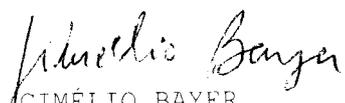
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

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

Aprovado em: 21/01/2005
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 25/01/2005
Por


CIMÉLIO BAYER
Orientador-PPG Ciência do Solo


CIMÉLIO BAYER
Coordenador do PPG Ciência
do Solo


JOÃO MIELNICZUK
Departamento de Solos/UFRGS


HOMERO BERGAMASCHI
Departamento Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS


TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Departamento de Solos/UFSM


GILMAR ARDUINO B MARODIN
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Dedico este trabalho aos meus queridos pais
Luiz e Nelci De Bona,
que se abstiveram de muitas coisas
para que as aspirações de seu único filho
pudessem se tornar realidade.
Cada conquista minha é deles também.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me agraciado com a vida, pelas alegrias e saúde, e nos momentos de fraqueza e desânimo por ter me amparado e dado forças para retomar a caminhada.

Ao Professor Cimélio Bayer, pela dedicada orientação e ensinamentos, pelos incentivos e motivação no trabalho, pela paciência, e por ter sido mais que um professor orientador, mas um amigo, cuja contribuição na minha formação profissional sempre será reconhecida.

Ao PPG Ciência do Solo da UFRGS e aos professores, pela acolhida durante os dois anos deste curso e pela formação acadêmica.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Professor João Mielniczuk, pelas sugestões neste trabalho, pelo incentivo e amizade, e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Homero Bergamaschi, por ter nos cedido a área experimental e muitos dados históricos do experimento, pelos ensinamentos e pelo exemplo profissional.

Às pessoas com quem morei em Porto Alegre nestes dois anos de mestrado Marcus, Márcio Lauschner e Clara, pela vivência, discussões, rodas de mate e lições de vida que fizeram de nós uma pequena família.

Aos meus colegas de mestrado, e principalmente amigos, Márcio Wally, Leandro, Elisandra, Márcio Lauschner, Antônio Xavier e Jonatas, pelos momentos de estudo, festas e convivência que deixarão saudades.

Aos meus “irmãos” do manejo de solo Frederico, Madalena, Paulo César (PC), Juliana, Elisandra, Falberni, Josi, Jeferson, Júlio, Nilvânia e Gustavo, pelos bate-papos, chimarrão, estudos, trabalho, enfim, pela prazerosa companhia que só a verdadeira amizade proporciona.

Ao laboratorista Luis A. da Silveira (Tonho), pelo auxílio na realização das análises, e pelo seu bom humor e companheirismo para com todos.

Aos colegas e amigos do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia Genei Dalmago, Lucieta Martorano e Flávia Comiran, por toda a ajuda prestada neste trabalho, e pela amizade.

Ao cidadão brasileiro, pela dignidade com que paga seus impostos possibilitando a existência da universidade pública, gratuita e de qualidade.

Ao agricultor, pela vontade e persistência com que trabalha arduamente de sol a sol, seja nos rincões dessa pampa ou nas fazendas mais tecnificadas do mundo afora, para produzir o sustento da humanidade, e que constitui a razão de ser da ciência agrônômica.

Aos meus pais Luiz e Nelci, pelo apoio e encorajamento dados a mim durante a realização do curso, por compreenderem a minha ausência, pelo exemplo de vida, e porque não, por essa vida que lhes foi confiada por Deus e que eles souberam cuidar tão bem.

E a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, muito obrigado.

DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS IRRIGADOS POR ASPERSÃO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL¹

Autor: Fabiano Daniel De Bona

Orientador: Prof. Cimélio Bayer

RESUMO

As áreas de agricultura irrigada por aspersão têm apresentado um elevado crescimento no Brasil, sendo o efeito desta prática no aumento do rendimento vegetal amplamente reconhecido. Entretanto, escassos são os trabalhos que tenham avaliado o seu efeito na qualidade do solo e do ambiente frente aos sistemas de manejo adotados nessas áreas. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da irrigação por aspersão sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) nos sistemas de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) na Região Sul do Brasil. Amostras de solo foram coletadas em subcamadas de 0 a 0,20 m em um Argissolo Vermelho por oito anos em PC e PD, com e sem irrigação, localizado na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul, RS. A irrigação resultou no aumento do aporte de resíduos vegetais em 1,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, o qual, entretanto, foi contrabalançado pela elevação das taxas de decomposição da MOS (19% no solo em PC e 15% no solo em PD), não resultando em aumento dos estoques de C orgânico e N total na camada de 0-0,20 m do solo em PC e PD. O aumento das taxas de decomposição da MOS decorrente da irrigação foi corroborado pelo efeito semelhante desta prática no aumento das taxas de decomposição de resíduos vegetais durante o ciclo da soja na safra 03/04, sendo esse efeito mais expressivo no solo em PD. Os efeitos dos sistemas de preparo e da irrigação no estoque e labilidade do C (C-Flevo/C-Fpesada) do solo foram integrados em um Índice de Manejo de Carbono (IMC), usando-se uma área adjacente sob campo nativo como referência (IMC = 100). Os maiores valores do IMC foram verificados no solo em PD e no tratamento sem irrigação, indicando a maior qualidade destes sistemas de manejo em comparação ao PC e tratamento com irrigação. Considerando o custo em C equivalente (CE) do uso da energia elétrica como fonte energética e tomando-se como referência o sistema PC não irrigado, a irrigação no sistema PD resultou no aumento da taxa de seqüestro de C (0,19 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹) em comparação ao sistema não irrigado (0,11 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹). No sistema PC isso não foi verificado, ocorrendo um aumento do efluxo líquido de C de 0,07 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema irrigado. Em adição ao tipo de solo e condições climáticas, o benefício da irrigação à qualidade do solo e do ambiente está associado à utilização de sistemas conservacionistas de manejo do solo e do uso de fontes renováveis ou menos poluidoras como fonte energética.

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, RS. Brasil. (130 p.) – Janeiro, 2005. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

SOIL ORGANIC MATTER DYNAMICS IN SPRINKLER-IRRIGATED SYSTEMS UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE ²

Author: Fabiano Daniel De Bona

Advisor: Prof. Cimélio Bayer

ABSTRACT

Sprinkler irrigation has been increasingly adopted in Brazilian agricultural lands, mostly because of its positive effects on crop yields. However, information pertaining to the effects of sprinkler irrigation on soil and environmental quality are still scarce. This study aimed at assessing the influence of sprinkler irrigation on the soil organic matter (SOM) dynamics in no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) systems in Southern Brazil. Soil samples of an Acrisol were collected from a long-term experiment (eight years), located at the EEA/UFRGS, Eldorado do Sul RS, Brazil. Two tillage systems (NT and CT), with and without irrigation, were assessed. Irrigation increased the annual C addition of maize plus cover crops by $1.6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. However, this increment was counterbalanced by the higher annual SOM decomposition rate imparted by irrigation (19% in CT and 15% in NT). Therefore, no increments in organic C and total N stocks in the 0-0.20 m layer could be observed due to irrigation, both in CT and NT. Increments in SOM decomposition rates due to irrigation are coherent to irrigation-induced increases in the crop residue decomposition rates, particularly in NT. Tillage and irrigation effects were summarized on a C management index (CMI), which was calculated by considering the changes in C stocks and C lability (light-C / heavy-C) related to native grassland. The highest CMI was found in NT without irrigation, indicating the better quality of this management system compared to CT with irrigation. Considering the carbon equivalent (CE) costs of electrical energy for irrigation, and taking into account CT without irrigation as the baseline, NT with irrigation showed a higher C sequestration rate ($0.19 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) than the non-irrigated counterpart ($0.11 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). On the other hand, for CT, irrigation caused a net C efflux of $0.07 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ compared to the non-irrigated treatment. The benefits of irrigation to soil and environmental quality are associated to the adoption of conservation soil management systems and to the use of renewable or environmental friendly energy sources.

² Master of Science Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (130 p.) - January, 2005. Research supported by CNPq.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1. Dinâmica da matéria orgânica no solo.....	03
2.2. Efeito das práticas de manejo do solo nas adições e perdas de C orgânico.....	06
2.2.1. Sistemas de culturas e de preparos de solo.....	06
2.2.2. Irrigação.....	08
2.3. Frações da matéria orgânica do solo.....	09
2.4. Métodos de cálculo dos estoques de C orgânico e N total no solo.....	11
2.5. Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo usando fracionamento físico.....	13
2.6. Seqüestro de C no solo.....	14
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	17
3.1. Hipóteses.....	17
3.2. Objetivos.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. Caracterização da área experimental.....	18
4.1.1. Local.....	18
4.1.2. Solo.....	18
4.1.3. Clima.....	18
4.2. Histórico da área experimental.....	19
4.2.1. Tratamentos e delineamento experimental.....	19
4.2.2. Condução das culturas.....	21
4.2.3. Sistema de irrigação e manejo da água de irrigação.....	23
4.3. Avaliações.....	25
4.3.1. Avaliação dos teores de C orgânico e N total do solo.....	25
4.3.1.1. Amostragem de solo.....	25
4.3.1.2. Análises de C e N e cálculo dos estoques desses elementos no solo.....	26
4.3.2. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	28
4.3.3. Cálculo do Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo.....	30
4.3.4. Avaliação da decomposição de resíduos vegetais.....	31

4.3.4.1.	4.3.4.1. Uso de sacos de decomposição (<i>litter bags</i>).....	31
4.3.4.2.	4.3.4.2. Análise de C dos resíduos vegetais dos sacos de decomposição.....	32
4.4.	4.4. Estimativa do seqüestro de C.....	34
4.5.	4.5. Análise estatística.....	36
5.	5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1.	5.1. Adição de C pelas culturas.....	37
5.2.	5.2. Decomposição de resíduos vegetais.....	39
5.3.	5.3. Teores e estoques de C orgânico no solo.....	47
5.3.1.	5.3.1. Distribuição do C orgânico no perfil do solo.....	47
5.3.2.	5.3.2. Estoques de C orgânico no solo.....	49
5.3.2.1.	5.3.2.1. Método de cálculo: camada equivalente de solo x massa equivalente de solo.....	49
5.3.2.2.	5.3.2.2. Efeitos dos sistemas de preparo e da irrigação.....	52
5.3.3.	5.3.3. Estimativas das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo.....	54
5.4.	5.4. Teores e estoques de N total no solo.....	57
5.4.1.	5.4.1. Distribuição no perfil do solo.....	57
5.4.2.	5.4.2. Estoques de N total no solo.....	59
5.5.	5.5. Fração leve da matéria orgânica do solo.....	62
5.6.	5.6. Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo.....	70
5.7.	5.7. Balanço entre efluxo e influxo de C em áreas irrigadas por aspersão sob diferentes sistemas de manejo de solo.....	72
6.	6. CONCLUSÕES.....	79
7.	7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
8.	8. APÊNDICES.....	91

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Análise química do solo por ocasião da instalação do experimento e antecedendo a semeadura da soja na safra 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004a – comunicação informal)..	20
2. Densidade do solo no sistema preparo convencional (PC), plantio direto (PD) e campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS. 2004.....	26
3. Variação do déficit hídrico, suplementação hídrica e adição anual de C ao solo para as áreas irrigadas e não irrigadas por aspersão cultivadas em plantio direto e preparo convencional no período experimental 1995-2002. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	38
4. Taxas diárias de decomposição (k) e coeficientes de determinação (R^2) das equações de ajuste ($C_y = C_i e^{-kt}$) para a cinética de decomposição dos resíduos vegetais de aveia, aveia + ervilhaca e ervilhaca no solo submetido aos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.....	41
5. Estoques de C orgânico do solo calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo nos sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig.) por aspersão, e no solo sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	50
6. Estoques de N total do solo calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo nos sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig.) por aspersão, e no solo sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	60

7.	Estoque e concentração de C orgânico da fração leve (C-FL) da matéria orgânica solo (MOS), obtida por fracionamento físico densimétrico utilizando NaI 1,8 g cm ⁻³ , nas camadas do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, e sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	66
8.	Índice de estoque de C (IEC), labilidade do C (LC), índice de labilidade do C (ILC) e índice de manejo do C (IMC) do solo cultivado em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	71
9.	Estimativa do seqüestro de C no solo manejado durante oito anos sob sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, sendo os custos (emissões) em C equivalente (CE) da irrigação referentes ao sistema de irrigação pivô central utilizando diesel ou energia elétrica como fonte energética. UFRGS, 2004.....	74

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Balanço hídrico normal (mm) de cálculo seriado segundo modelo de Thornthwaite-Mather (1955), para 75 mm de armazenagem de água disponível no solo, no período de março de 1970 a fevereiro de 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS. (Adaptado de Bergamaschi et al., 2003).....	20
2. Distribuição dos tratamentos no campo experimental, enfatizando os locais de amostragem de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	22
3. Distribuição da precipitação pluviométrica e irrigações realizadas durante a safra agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	25
4. Apresentação esquemática do fracionamento físico densimétrico do solo realizado. UFRGS, 2004.....	29
5. Carbono remanescente dos resíduos culturais de aveia (a), aveia + ervilhaca (b) e ervilhaca (c) no solo cultivado sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig) por aspersão, em avaliações realizadas <i>in situ</i> até 142 dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.....	40
6. Balanço hídrico calculado para a cultura da soja em condições irrigadas e não irrigada por aspersão para o período compreendido entre a semeadura e maturação fisiológica da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.....	43
7. Distribuição dos teores de C orgânico no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	48

8.	Estoques de C orgânico na camada 0-0,20 m do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	53
9.	Taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (k_2) estimadas para o solo submetido aos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, onde os percentuais representam as diferenças nos k_2 entre tratamentos de irrigação dentro dos sistemas de preparo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	55
10.	Distribuição dos teores de N total no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	58
11.	Estoques de N total na camada 0-0,20 m do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	61
12.	Concentração de C na fração leve (C-FL) da matéria orgânica do solo (MOS), obtida por fracionamento físico densimétrico utilizando NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e no solo sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	63
13.	Porcentagem de C orgânico acumulado nas frações leve (C-FL) e pesada (C-FP) na camada 0-0,20 m do solo cultivado em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e mantido sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	68
14.	Labilidade do C da matéria orgânica do solo (MOS) ($LC = \text{teor de C-FL/teor de C-FP}$) no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e no solo sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	69
15.	Índice de manejo de C (IMC) do solo submetido ao sistema de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	72

16. Balanço entre efluxo e influxo de C do solo em função do sistema de manejo (PD – plantio direto e PC - preparo convencional) e do uso da irrigação por aspersão (Irrig. – irrigado e N-Irrig. – não irrigado), estimado para o sistema de irrigação pivô central utilizando diesel como fonte de energia. UFRGS, 2004..... 76
17. Balanço entre efluxo e influxo de C do solo em função do sistema de manejo (PD – plantio direto e PC - preparo convencional) e do uso da irrigação por aspersão (Irrig. – irrigado e N-Irrig. – não irrigado), estimado para o sistema de irrigação pivô central utilizando energia elétrica como fonte de energia. UFRGS, 2004..... 77

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Descrição morfológica do perfil do solo do experimento (Rojas, 1998).....	92
2. Distribuição das partículas primárias no perfil do solo da área experimental em nove profundidades (adaptado de Rojas, 1998). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	93
3. Análise química e mineralógica do solo do experimento antes da implantação da cultura da soja (outubro de 2003). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004a – comunicação informal)..	94
4. Rendimento de grãos, produção de massa seca e adição de carbono pelas culturas do milho e cobertura de inverno (aveia + ervilhaca) na média dos dois sistemas de preparo de solo (PC e PD) em oito anos de experimento (1995-2003). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004. (Fonte: Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	95
5. Equação de regressão linear utilizada nas estimativas do índice de colheita da cultura do milho para as safras agrícolas 99/00, 00/01, 01/02 e 02/03, sendo obtida dos dados referentes às safras antecedentes. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004. (Fonte: Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	96
6. Radiação solar (Rs), temperatura do ar (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar (UR), vento a dois metros do solo, evaporação do tanque classe A (Eo), evapotranspiração potencial (ETo), precipitação pluviométrica (Prec.) e lâmina de água irrigada (Irrig.) observadas no período experimental transcorrido entre novembro/03 a abril/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004b – comunicação informal).....	97

7.	Representação gráfica das médias diárias da evapotranspiração potencial (ET _o), temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR) e radiação solar (R _s) ocorridas durante o período experimental (novembro/03 a abril/04). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/04. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004b – comunicação informal).....	100
8.	Consumo de diesel ou energia elétrica pelo sistema de irrigação pivô central em função da área irrigada, tempo de aplicação de água e capacidade de irrigação do equipamento, e respectivo método de cálculo (Carlesso & Spohr, 2004 – comunicação informal). UFRGS, 2004.....	101
9.	Estimativa da emissão de C devido ao consumo de diesel ou energia elétrica pelo equipamento de irrigação pivô central irrigando a cultura do milho durante o verão. UFRGS, 2004.....	102
10.	Estimativa da emissão de C devido às operações agrícolas de lavração, gradagem e semeadura. UFRGS, 2004. (Adaptado de Lal, 2004).....	103
11.	Estimativa da emissão de C devido as operações agrícolas realizadas nos sistemas de manejo de solo preparo convencional e plantio direto para a implantação da cultura do milho na área experimental. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1995/2003.....	103
12.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1995/96. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1995/96. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	104
13.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1996/97. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1996/97. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	105
14.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1997/98. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1997/98. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	106

15.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1998/99. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1998/99. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	107
16.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1999/00. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1999/00. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	108
17.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2000/01. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2000/01. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	109
18.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2001/02. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2001/02. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	110
19.	Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2002/03. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal).....	111
20.	Dados de massa seca, C e cinzas das amostras remanescentes nos sacos de decomposição utilizados na determinação da cinética de decomposição de resíduos vegetais <i>in situ</i> no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, incluindo as devidas correções realizadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS, 2003/04.....	112
21.	Dados de massa seca, N e cinzas das amostras remanescentes nos sacos de decomposição utilizados na determinação da cinética de decomposição de resíduos vegetais <i>in situ</i> no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, incluindo as devidas correções realizadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS, 2003/04.....	118

22.	Teores e quantidade de cinzas, carbono e nitrogênio originais dos resíduos de aveia, aveia + ervilhaca e ervilhaca, colocados nos sacos de decomposição para avaliação da cinética de decomposição do material vegetal <i>in situ</i> no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/04.....	124
23.	Concentração de C orgânico do solo em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	125
24.	Estoques de C orgânico do solo estimados pela metodologia da camada equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	126
25.	Estoques de C orgânico do solo estimados pela metodologia da massa equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	127
26.	Concentração de N total do solo em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	128
27.	Estoques de N total do solo estimados pela metodologia da camada equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	129
28.	Estoques de N total do solo estimados pela metodologia da massa equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.....	130

1. INTRODUÇÃO

A limitação de terras para a expansão das áreas agricultáveis, aliada a projeções de crescimento da população mundial para os próximos anos (ONU, 2003), reforçam ainda mais a necessidade do aumento da produtividade agrícola, visando suprir adequadamente a crescente demanda de alimentos para o consumo humano. Nesse contexto, o uso da irrigação é uma das práticas agrícolas que vem ganhando importância, sendo que atualmente responde por aproximadamente 75% da água consumida pelo homem (Wallace, 2000), direcionada para a suplementação hídrica das culturas. No Brasil, a área irrigada corresponde a aproximadamente 3,6 milhões de hectares, dos quais quase 1,6 milhões de hectares são irrigados por aspersão, cujo crescimento anual atinge em média 100 mil ha ano⁻¹ (Mittmann, 2004).

A agricultura irrigada por aspersão é caracterizada por altos investimentos, os quais necessitam ser compensados por elevadas produtividades, e que por sua vez, geram uma grande exportação de nutrientes do solo via grãos e/ou biomassa de plantas. Atualmente, muito se conhece sobre a resposta das culturas à suplementação hídrica via irrigação. No entanto, poucos estudos foram desenvolvidos no sentido de avaliar a qualidade do solo frente aos sistemas de manejo adotados nas áreas irrigadas por aspersão.

O intenso manejo do solo das áreas irrigadas muitas vezes é realizado de forma inadequada, sendo que práticas que envolvem revolvimento do solo, como o preparo convencional (PC), ainda são empregadas por uma grande parcela dos agricultores irrigantes. Solo descoberto durante uma parte do ano, monocultura ou rotações de culturas com plantas que aportam baixas quantidades de resíduos, são práticas verificadas em algumas áreas irrigadas que podem agravar os problemas relacionados à degradação do solo. Nota-se que o sistema plantio direto (PD), amplamente difundido no sul do Brasil, nem

sempre tem sido adotado nas lavouras irrigadas por aspersão, o que aumenta as preocupações em relação à sustentabilidade desses solos a médio e longo prazo.

Consagrada como um dos indicadores de qualidade do solo (Larson & Pierce, 1994) e, conseqüentemente, dos sistemas de manejos empregados, a matéria orgânica do solo (MOS) tem sido muito utilizada nos estudos que visam avaliar, direta ou indiretamente, as condições químicas, físicas e biológicas do sistema solo. A sensibilidade da MOS em relação às práticas de manejo agrícolas e o seu efeito sobre o surgimento das propriedades emergentes do solo (Vezzani, 2001) destacam a importância desse atributo do solo, o que lhe confere grande credibilidade na avaliação do estado do solo sob diferentes sistemas de manejo. Nesse sentido, o presente estudo objetiva avaliar o efeito da irrigação por aspersão sobre a dinâmica da MOS nos sistemas PD e PC na Região Sul do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dinâmica da matéria orgânica no solo

O solo é um sistema termodinamicamente aberto caracterizado pela constante troca de matéria e energia com o meio (Addiscott, 1995), onde os subsistemas plantas, microrganismos e matéria mineral estão intimamente relacionados (Vezzani, 2001). A matéria orgânica do solo (MOS) é um importante componente deste sistema, sendo oriunda dos resíduos vegetais adicionados ao solo pelas plantas, as quais fixam fotossinteticamente o C da atmosfera. Os resíduos depositados no solo são fracionados num primeiro momento pela fauna do solo e, em seguida, são decompostos pelos microrganismos. Uma parte do C adicionado é oxidada a CO₂ e o restante se torna parte da matéria orgânica, passando a interagir com a matéria mineral do solo.

A MOS atua na agregação e estruturação do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Silva & Mielniczuk, 1997), promovendo, portanto, melhoria de características físicas do solo, tais como: densidade, aeração, infiltração e retenção de água. Ela possui um papel fundamental na ciclagem de nutrientes essenciais para as plantas, dos quais se destaca o nitrogênio (Amado, 1997). Relacionado às propriedades químicas, a MOS é responsável pelo aumento na capacidade de troca de cátions (CTC), devido ao grande número de grupos carboxílicos e fenólicos presentes em sua estrutura (Sposito, 1989), além de atuar na adsorção e complexação de compostos orgânicos e inorgânicos (Salet et al., 1999). Do ponto de vista ambiental, o acúmulo de MOS está vinculado à mitigação das emissões de CO₂ (Bayer et al., 2000b), atuando no sentido de minimizar o aquecimento global.

O conteúdo de MOS é o resultado do balanço das quantidades de C adicionadas e perdidas, sendo expresso pelo modelo unicompartmental da

dinâmica da MOS (Henin & Dupuis, 1945; Woodruff, 1949; Dalal & Mayer, 1986a; Bayer, 1996; Lovato, 2001):

$$C_t = C_o e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t}) \quad (2.1.)$$

onde C_t representa o estoque de C orgânico no solo em um determinado tempo t ; C_o é o estoque de C orgânico inicial do solo no tempo zero ($t = 0$), A representa o C fotossintetizado adicionado ao solo na forma de resíduos, exsudatos radiculares e raízes, k_1 é o coeficiente de humificação, ou seja, a percentagem do C adicionado anualmente que acumula na MOS, e k_2 é o coeficiente que representa a fração da quantidade de C orgânico do solo que é perdida anualmente por decomposição microbiana, erosão e lixiviação.

A taxa de variação no estoque de C orgânico do solo (dC/dt), expressa em $Mg\ ha^{-1}ano^{-1}$, pode ser obtida pela derivada da equação 2.1. em função do tempo:

$$\frac{dC}{dt} = -k_2 C + k_1 A \quad (2.2.)$$

onde C é o estoque de C orgânico total do solo, $k_1 A$ e $k_2 C$ representam, em base anual, as quantidades adicionadas e perdas de C orgânico no solo, respectivamente.

O estoque estável de C orgânico ($dC/dt = zero$) é atingido quando ocorre o balanço entre a quantidade de C orgânico adicionado pelas culturas e a quantidade de C orgânico perdido por oxidação microbiana ($Ak_1 = k_2 C$). Na condição de estoque estável de C orgânico no solo (C_e), assumindo-se um coeficiente de humificação (k_1) fixo e conhecendo-se as quantidades de C adicionadas pelas culturas anualmente (A), a taxa de decomposição da matéria orgânica (k_2) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$k_2 = \frac{k_1 A}{C_e} \quad (2.3.)$$

O coeficiente de humificação (k_1) da parte aérea das culturas oscila entre 7,7 e 20% ($k_1= 0,077$ e $0,20$), tendo o valor 12,2% ($k_1= 0,122$) como média (Bolinder et al., 1999). Essa amplitude é devida aos fatores que influenciam o processo de humificação promovido pela atividade microbiana, tais como: temperatura, umidade, práticas de manejo (revolvimento do solo), contato resíduo-microrganismo e composição bioquímica do material vegetal (Andrén et al., 1992; Amado et al. 2000; Trinsoutrot et al., 2000; Aita & Giacomini, 2003). Balesdent & Balabane (1996) observaram maiores valores de k_1 para o C adicionado pelas raízes, aproximadamente 1,5 vezes maior, o que foi atribuído ao teor de lignina mais elevado nesses órgãos das plantas, mas principalmente, ao fato da raiz introduzir diretamente o C no interior de agregados na matriz do solo, os quais o protegem fisicamente do ataque microbiano.

As taxas de oxidação do C orgânico (k_2) são influenciadas pela temperatura do solo, conteúdo de água, tipo de solo e efeito dos sistemas de manejo. Para regiões tropicais e subtropicais foram encontrados valores máximos de k_2 iguais a 10% ($0,10 \text{ ano}^{-1}$) (Cerri, 1986), enquanto em regiões temperadas e frias esses valores são inferiores a 2% ($0,02 \text{ ano}^{-1}$) (Balesdent et al., 1987). A variação do k_2 entre classes de solos também é expressiva, o que é atribuído a diferenças na fração argila e teor de óxidos de Fe e Al (Oades et al., 1989). Bayer (1996) determinou um k_2 para um Argissolo Vermelho distrófico em PC cerca de quatro vezes superior ao k_2 de um Latossolo Bruno sob mesmas condições de cultivo.

A dinâmica do C orgânico do solo é altamente influenciada pelos sistemas de manejo de solo empregados pelos agricultores, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, onde após os primeiros anos de cultivo do solo baseado em práticas convencionais de manejo, verifica-se um decréscimo rápido e acentuado do teor de matéria orgânica original do solo (campo nativo ou floresta) (Dalal & Mayer, 1986a; Greenland et al., 1992, Mielniczuk et al., 2003).

2.2. Efeito das práticas de manejo do solo nas adições e perdas de C orgânico

2.2.1. Sistemas de culturas e de preparos de solo

Sistemas de culturas são responsáveis pela adição de C-CO₂ atmosférico como C orgânico no solo via fotossíntese (A). Sabe-se que a produção de fitomassa está relacionada com características da planta (gramíneas e leguminosas), do solo (fertilidade, umidade e aeração) e clima (precipitação, radiação solar e temperatura). Neste contexto, rotações de culturas que intensificam a frequência ou a duração de plantas cobrindo o solo com espécies diversas e produtivas, manejadas de forma correta, podem aumentar o aporte de C e o teor de MOS (Janzen et al., 1992). Lovato (2001) estimou o C adicionado pelas culturas de cobertura em três sistemas de cultivo sem uso de nitrogênio, por um período de treze anos, obtendo médias anuais de 1,61, 2,47 e 3,76 Mg ha⁻¹ para a aveia (*Avena strigosa*), vica (*Vicia sativa*) e aveia+vica/caupi (*Vigna unguiculata*), respectivamente, demonstrando o grande potencial de aumento do aporte de C quando da adoção de um maior número de culturas por ano.

Estudos comprovam que a introdução de leguminosas em sistemas de rotação de culturas incrementa os estoques de C orgânico e N total do solo (Burle et al., 1997), assim como também melhora a qualidade do solo (Vezzani, 2001). Bayer (1996), estudando a adição anual de C num experimento de sistemas de culturas sob PD, observou um valor de A anual de aproximadamente 4,37 Mg ha⁻¹ na sucessão aveia/milho, o qual aumentou para 6,14 e 8,89 Mg ha⁻¹ com a utilização de leguminosas tropicais, lablab (*Lablab purpureus*) e guandu (*Cajanus cajan*), associadas ao milho (*Zea mays*), respectivamente.

A maior contribuição das espécies leguminosas na rotação de culturas está no fato delas aumentarem o aporte de N ao solo pelo processo de fixação simbiótica do N₂ atmosférico. Esse incremento de N ao solo via planta, aumenta a disponibilidade deste nutriente para as espécies não-leguminosas, o que resulta em maiores produções de grãos e biomassa destas culturas e, conseqüentemente, maiores adições de C orgânico ao solo (Mielniczuk et al., 2003).

Os sistemas de preparo adotados afetam de forma diferenciada as taxas de decomposição da MOS (k_2), cujos efeitos também variam em função de variáveis relacionadas a clima e solo. Dalal & Mayer (1986a) investigaram seis solos australianos cultivados em PC e sucessão trigo/pousio durante 70 anos, onde constataram taxas de perda de C variáveis entre 0,041 e 1,211 ano⁻¹. Esses resultados de k_2 demonstraram uma ordem inversa de variação em relação ao teor de argila do solo, ou seja, quanto mais argiloso o solo, menor a taxa de decomposição da MOS.

Visando comparar sistemas conservacionistas de manejo de solo, como o PD, em relação ao PC, foi realizado um estudo num Argissolo Vermelho distrófico (220 g kg⁻¹ de argila e 103 g kg⁻¹ de Fe₂O₃) no sul do Brasil, que indicou taxas de decomposição da MOS de 0,054 ano⁻¹ para o PC e de 0,029 ano⁻¹ para o PD (Bayer, 1996; Bayer et al., 2000b). O maior valor de k_2 do solo em PC ocorre devido ao revolvimento do solo, o qual resulta no fracionamento e incorporação da palhada, maior contato entre microrganismos e matéria orgânica, aumento na temperatura do solo das áreas revolvidas, exposição da matéria orgânica pelo rompimento dos agregados, e maior aeração.

Convém ressaltar que os efeitos dos sistemas de manejo sobre as taxas de decomposição da MOS também são correlacionados com o tipo de solo (textura e mineralogia). Trabalhando com um Latossolo Bruno (620 g kg⁻¹ de argila e 211 g kg⁻¹ de Fe₂O₃), Bayer (1996) estimou valores de k_2 de 0,014 ano⁻¹ e de 0,012 ano⁻¹ para o sistema PC e PD, respectivamente. Verifica-se que esses valores são bem menores, comparativamente aos observados pelo mesmo autor no Argissolo Vermelho, o que decorre da maior estabilidade da MOS pela sua interação com a fração mineral do solo.

Ao contrário do PC, o sistema PD não promove à inversão das camadas aráveis do solo pelo revolvimento. Neste sistema, a cobertura vegetal é mantida sobre o solo e os resíduos não são incorporados. Há uma diminuição na decomposição da MOS pelos microrganismos do solo que pode ser, ao menos em parte, devido à inacessibilidade da matéria orgânica no interior dos macro e microagregados (Jastrow & Miller, 1992; Six et al., 2002).

2.2.2. Irrigação

A irrigação por aspersão é uma prática que, por aumentar o conteúdo de água disponível no solo, resulta no aumento da quantidade de resíduos vegetais produzidos pelas culturas, bem como também pode influenciar a atividade dos microrganismos na decomposição da MOS. O balanço entre esses efeitos ainda é desconhecido, e irá determinar se a prática da irrigação é benéfica ou prejudicial quanto aos estoques de MOS.

O rendimento das culturas irrigadas tem acentuado acréscimo quando comparado com o cultivo sob condições normais de precipitação (Cunha & Bergamaschi, 1992). Trabalhos envolvendo milho irrigado demonstraram que, em seis anos de cultivo sucessivos, o milho sob irrigação alcançou um rendimento médio de grãos de aproximadamente $10,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o não irrigado produziu apenas $6,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Müller, 2001). Considerando especificamente a biomassa aérea adicionada ao solo pelas culturas irrigadas, é relevante o estudo realizado nos anos agrícolas 1993/94 a 1996/97 com milho irrigado na região da Depressão Central do RS, no qual se verificou uma adição média de massa seca de 15,2 e 9,9 Mg ha^{-1} para o milho irrigado e não irrigado, respectivamente (Bergonci et al., 2001), o que representa um aumento médio de 53% na adição de C ao solo pela utilização da irrigação no cultivo do milho em quatro safras avaliadas.

Com relação à influência da irrigação sobre as taxas de decomposição da MOS os conhecimentos são muito escassos. Entretanto é correto afirmar que a água é um agente essencial no desempenho das funções metabólicas dos microrganismos do solo (Alexander, 1961). Em potenciais de água mais baixos verifica-se que a atividade metabólica de muitos microrganismos é interrompida (Harris, 1981 *apud* Hartel, 1998). Andrén et al. (1992) estudaram a dinâmica da decomposição de palha de cevada no tempo sob diferentes condições de umidade, em que os resultados revelaram taxas de decomposição diárias com valores de 0,537, 0,647 e 0,843 $\% \text{ dia}^{-1}$ para os tratamentos sem adição de água (coberto), testemunha (precipitação) e irrigado por gotejamento. Os resultados sugerem uma clara tendência de aumento na taxa de decomposição microbiana dos resíduos em condições de maior umidade do solo. Em analogia, às condições mais favoráveis para a atividade

microbiana em solos sob irrigação, certamente, também são válidas para o aumento das taxas de decomposição da MOS.

Salienta-se que o balanço entre o efeito da irrigação sobre as taxas de adição e perda de C em solos sob irrigação, determina o aumento ou a diminuição dos estoques de MOS. Convém destacar que o resultado final deve ser dependente das interações estabelecidas entre irrigação, rotações de culturas, preparos de solo, tipo de solo e variáveis climáticas.

2.3. Frações da matéria orgânica do solo

A MOS não é um componente uniforme, sendo composta por frações que apresentam diferenças estruturais no que se refere ao estágio de decomposição, composição química, tamanho, recalcitrância, proteção química e física (Parton et al., 1987; Paustian et al., 1992). A utilização de diferentes métodos de fracionamento físico permite separar frações orgânicas de diferente dinâmica e função no solo (Roscoe & Machado, 2002). De maneira geral, são utilizados dois métodos de fracionamento físico, sendo um densimétrico e o outro granulométrico, sendo que os mesmos podem ser usados de forma combinada (Six et al, 1998). No fracionamento densimétrico obtém-se a fração leve (FL) (leve livre e leve oclusa) e a fração pesada (FP) utilizando soluções orgânicas ou salinas com densidades ajustadas entre 1,4 e 2,2 g cm⁻³ (Roscoe & Machado, 2002). Por sua vez, no fracionamento granulométrico a MOS é separada em frações de diferentes tamanhos de partículas por peneiras com malhas de dimensões distintas (Cambardella & Elliot, 1992).

As frações orgânicas obtidas por diferentes métodos de fracionamento físico apresentam características similares e podem ser relacionadas (Dalal & Chan, 2001). No fracionamento físico densimétrico a fração lábil da MOS é representada pela FL (FL-livre e FL-occlusa). Já pelo método granulométrico considera-se a fração lábil da MOS como sendo o material orgânico retido na peneira de 53 µm, o qual recebe o nome de matéria orgânica particulada (MOP) (Cambardella & Elliot, 1992). Com alguma ressalva, pode-se afirmar que a MOP do método granulométrico é equivalente a FL-livre do método densimétrico.

Estudos básicos da dinâmica da MOS optam pelo fracionamento físico densimétrico, sendo a atenção centralizada no acompanhamento da FL, sem avaliar a sua localização em relação à estrutura do solo (FL-livre e FL-oclusa).

A FL constitui-se numa fração da MOS que é composta essencialmente por biomassa microbiana e materiais orgânicos que se encontram numa fase inicial de humificação, oriundos de resíduos vegetais, restos de microfauna e hifas de fungos (Janzen et al., 1992). Segundo Skjemstad et al. (1986) que trabalhou com ^{13}C -NMR, a FL possui elevados teores de carboidratos em sua constituição, sendo que sua composição química é comparável à de plantas e resíduos vegetais.

Devido às características intrínsecas, a fração lábil da MOS possui altas taxas de decomposição (Christensen, 1986; Bayer, 1996) e uma maior sensibilidade a mudanças nas práticas de manejo do que o C orgânico total. Trabalhando num Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com a sucessão mucuna (*Stylozobium aterrimum*)/milho em PD, Bayer (1996) determinou uma taxa relativa de decomposição na MOP ($> 53 \mu\text{m}$), com valores médios de aproximadamente $1,040 \text{ ano}^{-1}$. Já as frações granulométricas correspondentes a FP apresentaram valores que variaram entre $0,603$ e $0,158 \text{ ano}^{-1}$. Os complexos organominerais primários (Christensen, 1996) presentes na fração pesada conferem a maior parte da estabilidade da matéria orgânica neste compartimento.

Skjemstad et al. (1986) avaliaram um solo cultivado durante 35 anos com cereais na região de Queensland, na Austrália, em que seus resultados demonstram que o C da FL ($< 2,0 \text{ Mg m}^{-3}$) foi reduzido em torno de 95% em relação ao solo em estado natural. Esta tendência não foi observada na FP ($> 2,4 \text{ Mg m}^{-3}$), a qual não apresentou redução no estoque de C orgânico. Dalal & Mayer (1986b) obtiveram resultados semelhantes, verificando que a perda de C foi 11 vezes maior na FL ($< 2,0 \text{ Mg m}^{-3}$) comparada a FP ($> 2,4 \text{ Mg m}^{-3}$) após o início do cultivo de solos virgens.

Entre as práticas de manejo de solo, os sistemas de preparo atuam sobre o conteúdo e as taxas de decomposição do C das frações lábil e estável da MOS. Estudos sobre a dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos no RS mostraram que, após nove anos de cultivo em PD e

PC, o conteúdo de C orgânico da MOP ($> 53 \mu\text{m}$) foi de aproximadamente 0,57 e 0,22 Mg ha^{-1} , respectivamente (Bayer, 1996). As taxas de decomposição relativas no solo em PD assumiram valores aproximados de $0,55 \text{ ano}^{-1}$, as quais praticamente triplicaram no PC, sendo estimadas em torno de $1,51 \text{ ano}^{-1}$.

Diversos estudos ressaltam também a importância das rotações de culturas no incremento da FL da MOS (Janzen et al., 1992; Bremer et al., 1995). Estudando rotações de culturas em experimentos de longa duração (1954-1992) em Alberta (Canadá), Bremer et al. (1995) verificaram que os sistemas pousio/trigo (*Triticum aestivum* L.) e pousio/trigo/trigo reduziram entre 32 e 47% o C-FL, comparado ao sistema cultivado com trigo sem pousio. Os mesmos autores constataram ainda que um terço da variação na concentração de C entre tratamentos foi devido ao C-FL. Janzen et al. (1992) salientam a importância da escolha da época de amostragem dentro das fases da rotação na determinação do C-FL da MOS.

Em geral, por ser uma fração muito sensível às mudanças do ambiente, a FL da MOS sofre a influência de todos os fatores ligados ao manejo do solo e de culturas, bem como de condições locais de clima e solo. A irrigação afeta o sistema por aumentar a quantidade de água disponível, o que contribui para um provável aumento da atividade microbiana. Por ser uma fração de constituição bioquímica de baixa recalcitrância (Janzen et al., 1992; Skjemstad et al., 1986), a FL tende a ser mais afetada pelo aumento das taxas de decomposição do que a MOS total. Deste modo, acredita-se que, através do C-FL da MOS, é possível detectar alterações ocorridas nos sistemas de manejo devido ao uso da irrigação por aspersão, as quais, talvez, não sejam perceptíveis nos teores totais de C orgânico do solo a médio e curto prazo.

2.4. Métodos de cálculo dos estoques de C orgânico e N total no solo

As avaliações de alterações promovidas por sistemas de manejo dependem, pelo menos em parte, dos métodos de cálculo utilizados. O procedimento de cálculo tradicionalmente utilizado para determinação dos estoques de C e N é realizado em função da concentração do elemento, densidade do solo e espessura da camada do solo (Ellert & Bettany, 1995). Essa metodologia é denominada de camada equivalente de solo porque os

teores e estoques dos elementos são estimados a partir de camadas com mesma espessura para diferentes solos e sistemas de manejo, independente de existir ou não diferenças entre as densidades do solo. As críticas em relação a esse método de cálculo fazem referência às diferenças entre as massas de solo que estão sendo comparadas em sistemas de manejo distintos (Bayer, 2003). Autores afirmam que as densidades de solo mais elevadas, geralmente observadas no PD, podem acarretar uma superestimativa do conteúdo total de C ou N nesse sistema (Ellert & Bettany, 1995), em comparação ao PC.

Segundo Ellert & Bettany (1995), esse método não permite o discernimento das variações nos estoques dos elementos que são devido aos efeitos dos sistemas de manejo, daquelas advindas das mudanças nas características físicas do solo. Buscando solucionar esse problema, esses pesquisadores propuseram um procedimento de cálculo para o estoque de C orgânico e/ou N total em diferentes sistemas de manejo baseado na consideração de massas equivalentes de solo.

Pela metodologia de massa equivalente de solo as espessuras das camadas de solo são ajustadas de modo que as quantidades de solo nas camadas comparadas sejam equivalentes sob qualquer sistema de manejo. Dentre os tratamentos estudados é escolhido um sistema de referência, o qual pode apresentar a maior ou a menor massa na camada, sendo que a partir dessa as espessuras das camadas de solo dos demais tratamentos são corrigidas (Ellert & Bettany, 1995). Contrário ao que foi apresentado por Ellert & Bettany (1995), este procedimento de cálculo não é válido para corrigir resultados entre solos diferentes, pelo fato destes possuírem características morfogênicas distintas. No entanto, é válido para corrigir resultados obtidos de diferentes tratamentos no mesmo solo. Diferente do proposto pelos referidos autores, a correção não precisa ser obrigatoriamente realizada somente na camada total do solo amostrada, mas pode ser realizada em cada subcamada componente da camada total, isoladamente (Bayer, 2003).

Estudando a dinâmica da matéria orgânica de um Cambissolo húmico sob PC e PD, Bayer (2003) verificou que a utilização do procedimento de cálculo da camada equivalente de solo (0-0,15 m) resultou numa superestimativa de 51% no seqüestro de C no sistema PD em comparação ao cálculo baseado na massa equivalente de solo.

2.5. Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo usando fracionamento físico

O índice de manejo de carbono (IMC) do solo foi proposto por Blair et al. (1995) com o objetivo de avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo do solo sobre a MOS. O índice é composto por um índice de estoque de C (IEC) e por um índice de labilidade (IL), os quais são calculados com base numa área de referência (IMC = 100). A área de referência pode ser um solo em estado natural (mata ou campo nativo) ou, no extremo oposto, uma área com solo degradado (sistema de manejo inadequado). Na literatura são encontrados diversos trabalhos elaborados utilizando o IMC como indicador de qualidade de manejo (Whitbread et al., 1996; Blair et al., 1998; Blair et al., 2000).

Originalmente, a metodologia consiste em oxidar o C lábil da MOS com KMnO_4 333mM, sendo o C orgânico não oxidado considerado C não-lábil. A razão entre o C lábil e o C não-lábil representa a labilidade do C do solo (Blair et al., 1995).

A ampla utilização e adoção do IMC não foram alcançadas, provavelmente, devido aos problemas e restrições ligadas ao KMnO_4 . Esse reagente é facilmente fotooxidado e as quantidades de C oxidadas (C lábil) variam muito com a concentração (33, 60, 333 mM) e o tipo de solo (Vieira et al., 2004). Diante disso, iniciaram-se estudos no sentido de utilizar frações físicas obtidas nos fracionamentos densimétrico e granulométrico em substituição às frações obtidas pela oxidação com KMnO_4 na determinação do IMC, em que a concentração de C-FL da matéria orgânica e da MOP (> 53 μm) seriam indicativos da labilidade da MOS e utilizadas na estimativa do IL (Diekow et al., 2004 – no prelo; Vieira et al., 2004). Trabalhando com um Argissolo Vermelho, Vieira et al. (2004) compararam o C da fração lábil oxidado com KMnO_4 60 mM com o C da FL obtida pelo método de fracionamento físico densimétrico (NaI 1,8 g cm^{-3}), obtendo um coeficiente de correlação de 0,83. Esses resultados sugerem como adequado o uso das frações físicas na estimativa do IMC.

No tocante à funcionalidade do IMC, estudos têm demonstrado ser ele um indicador muito útil para avaliar e comparar a eficiência de diferentes sistemas de manejos em manter ou melhorar a qualidade do solo. Em área sob PD, Diekow et al. (2004 – no prelo) encontraram para a sucessão aveia/milho,

sem aplicação de N, um IMC de aproximadamente 46. Por outro lado, no mesmo experimento, a sucessão guandu/milho com N apresentou um IMC em torno de 517. Torna-se evidente que sistemas que primam por um maior retorno de resíduos ao solo, seja por rotação de culturas, adubação ou espécies mais produtivas (parte vegetativa), incrementam o IMC e promovem a sustentabilidade do solo.

2.6. Seqüestro de C no solo

Aliados a sistemas de manejo adequados os solos agrícolas apresentam potencial de mitigação do efeito estufa através do seqüestro de C atmosférico, processo pelo qual o CO₂ atmosférico é incorporado na MOS via plantas, reduzindo sua concentração na atmosfera e amenizando seus efeitos no forçamento radiativo. Na literatura são citadas diversas práticas de manejo que podem aumentar e manter os estoques de C no solo, tais como: rotação de culturas, preparos conservacionistas, adubação química, irrigação, reflorestamento, entre outros (Lal et al., 1999; Follett, 2001).

Na estimativa do seqüestro de C no solo influenciado por sistemas de manejo, além das estimativas de C orgânico no solo devem ser consideradas as emissões de CO₂ das diferentes operações/produtos, as quais podem ser expressas em C equivalente (CE).

Há um consenso geral de que sistemas conservacionistas que promovem um elevado aporte de resíduos vegetais ao solo são eficientes no seqüestro de C. Estudando sistemas de preparo e culturas num Argissolo Vermelho do RS, Bayer et al. (2000a) observaram que, após nove anos, o sistema aveia + vica/milho + caupi sob PD apresentou 12 Mg ha⁻¹ de C orgânico a mais que a sucessão aveia/milho em PC na camada 0-0,30 m. Esse resultado representa uma remoção de aproximadamente 44 Mg ha⁻¹ de CO₂ da atmosfera.

Além da influência dos métodos de preparo de solo e rotações de culturas, as taxas de seqüestro de C dos solos variam em função do clima, tipo de solo (textura e mineralogia), entre outros fatores (Bayer et al., 2002b). Dentre os manejos recomendados para seqüestrar CO₂ atmosférico na MOS, o uso da irrigação é, provavelmente, um dos que necessita ser mais bem investigado (Lal et al., 1999; Follett, 2001). Existem muitas dúvidas desde a

influência da qualidade da água (Schlesinger, 1999, 2000) até as reais taxas de variação nos estoques de C orgânico em solos de áreas irrigadas. Schlesinger (1999, 2000) salienta que muitas práticas agrícolas consagradas, na verdade podem não contribuir efetivamente para o seqüestro de C. O autor argumenta que, muitas vezes, as emissões de C ligadas ao produto e/ou técnica podem superar os aumentos do C orgânico do solo.

As emissões de C relativas à prática da irrigação estão associadas, principalmente, à queima de combustíveis fósseis utilizados para o bombeamento da água de irrigação (West & Marland, 2002; Lal, 2004; Schlesinger 1999; 2000; Follett, 2001). A quantidade de C liberado varia em função da fonte de energia utilizada, tais como: energia elétrica, gás natural, propano, diesel, gasolina, entre outros. Segundo Follet (2001), energia elétrica oriunda de hidrelétricas e usinas nucleares não resulta em emissão de C, o que não é verdadeiro para a energia elétrica produzida por termelétricas, onde a queima de carvão libera quantidades consideráveis de dióxido de C para a atmosfera.

Com base na área agrícola irrigada dos Estados Unidos, Follet (2001) estimou a emissão de C relacionada ao bombeamento da água de irrigação, onde obteve valores médios na faixa de 0,15 a 0,20 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a variação dependente da fonte de energia utilizada. West & Marland (2002), por sua vez, estudando a emissão de C associada ao bombeamento de água de uma área de 14,5 Mha, estimaram um valor médio aproximado de 0,24 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹. Segundo Schlesinger (1999, 2000), dependendo das fontes de energia utilizadas para o bombeamento de água para a irrigação, as taxas de emissão de C podem variar entre 0,22 a 0,83 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹.

Diversos outros fatores devem ser considerados também na estimativa do C emitido pelo uso da irrigação, entre eles: exigência hídrica da cultura, período de irrigação, qualidade da água (carbonatos) (Schlesinger, 1999, 2000), origem da água (fontes subterrâneas, represas, córregos), extensão da área irrigada e sistema de irrigação utilizado. Lal (2004) salienta que, para diminuir a emissão de C devido à irrigação, é importante aumentar a eficiência do uso da água, substituir métodos de irrigação inadequados, adotar sistemas conservacionistas com cobertura morta para reduzir as perdas por

evaporação, e utilizar suplementação hídrica somente nos estágios mais críticos de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Além da irrigação, operações agrícolas tais como: aração, gradagem, discagem, escarificação e/ou subsolagem, realizadas no PC do solo representam um custo médio em CE de $0,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (West & Marland, 2002). Segundo os referidos autores, esse custo é 200% superior ao valor de emissão estimado para o sistema PD ($0,023 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) devido ao uso da maquinaria agrícola. A utilização de fertilizantes, herbicidas, inseticidas e fungicidas também contribui para o aumento da emissão de C nos sistemas agrícolas, sendo que esses custos são distintos para o sistema PC e PD (West & Marland, 2002; Lal, 2004).

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1. Hipóteses

Este estudo visou testar as seguintes hipóteses estabelecidas:

- A irrigação por aspersão afeta os estoques da MOS, sendo esse efeito variável em função do sistema de preparo adotado, bem como pelo tipo de solo e condições climáticas.
- A irrigação por aspersão afeta as taxas de decomposição da MOS e o aporte de resíduos vegetais, sendo que o balanço entre esses efeitos determina a variação nos estoques de C orgânico e N total do solo das áreas irrigadas.
- A irrigação por aspersão afeta de maneira distinta as diferentes frações da MOS, sendo a magnitude desse efeito dependente do sistema de manejo de solo utilizado.

3.2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram:

- Avaliar o efeito da irrigação por aspersão sobre a dinâmica da matéria orgânica e decomposição de resíduos vegetais no solo nos sistemas PC e PD.
- Avaliar as taxas de decomposição de resíduos vegetais e da MOS em sistemas PC e PD, com e sem irrigação.
- Avaliar o efeito da irrigação sobre o comportamento das frações físicas da MOS em PC e PD.
- Avaliar a qualidade do manejo do solo a partir da estimativa do Índice de Manejo de Carbono (IMC).
- Avaliar o efeito da irrigação por aspersão nas taxas de seqüestro de C no solo considerando os custos em C equivalente dessa prática.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área experimental

4.1.1. Local

A área experimental localiza-se na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (Rio Grande do Sul), na região ecoclimática da Depressão Central. As coordenadas geográficas do local são 30°05'S de latitude e 51°40'W de longitude, e encontra-se a cerca de 40 m de altitude (Bergamaschi et al., 2003).

4.1.2. Solo

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos (Mello et al., 1966) e é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999) com horizonte B textural (Rojas, 1998) (Apêndice 1). No local do experimento o relevo é plano, e o solo (0-0,20 m) apresenta textura franco arenosa com 543 g kg⁻¹ de areia, 271 g kg⁻¹ de silte e 186 g kg⁻¹ de argila (Rojas, 1998) (Apêndice 2).

4.1.3. Clima

O clima da região é subtropical úmido de verão quente, Cfa segundo a classificação climática de Köppen. A radiação solar global é maior no mês de dezembro com média de 21,33 MJ m⁻² dia⁻¹, enquanto junho é o mês que apresenta a menor média com 8,55 MJ m⁻² dia⁻¹. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com médias de temperatura do ar próximas a 25°C, enquanto que os meses mais frios são junho e julho que apresentam médias em torno de 9°C (valores médios do período de março/1970 a dezembro/2000). A temperatura do solo tem o mesmo padrão de variação da temperatura do ar,

coincidindo os períodos de maiores e menores médias mensais (Bergamaschi et al., 2003).

Segundo Bergamaschi et al. (2003) a variação da umidade relativa do ar é praticamente inversa à da temperatura do ar, com maiores valores no inverno e menores valores no verão. As geadas se concentram no inverno, principalmente nos meses de junho e julho. A precipitação média anual é de 1446 mm, com média mensal de aproximadamente 120 mm, sendo que os meses mais chuvosos são junho, julho e agosto. Os valores totais médios anuais de evapotranspiração, calculados pelo método de Penman e Thornthwaite, são 1209 e 929 mm, respectivamente. As menores médias mensais de evapotranspiração correspondem a junho, enquanto que as médias mais elevadas ocorrem em dezembro (Penman) e janeiro (Thornthwaite).

As médias de evapotranspiração estimadas pelo método de Penman superam as médias da precipitação durante o verão e a maior parte da primavera, ocorrendo o contrário no outono e inverno. Deste modo, considerando uma capacidade de armazenagem de água no solo (CAD) de 75 mm, verifica-se através do balanço hídrico seriado uma deficiência hídrica anual média de 53 mm no período de novembro a março (Bergamaschi et al., 2003) (Figura 1).

4.2. Histórico da área experimental

A área em estudo foi utilizada em experimentos com forrageiras no início dos anos 90. Após este período, permaneceu aproximadamente três anos sob vegetação espontânea antes da implantação do experimento com sistemas de cultivo em 1995. Em maio de 1995, realizou-se calagem e adubação de correção com aplicação de 4 Mg ha⁻¹ de calcário, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 140 kg ha⁻¹ de K₂O de acordo com a análise de solo (Tabela 1), os quais foram incorporados na camada de 0-0,20 m do solo.

4.2.1. Tratamentos e delineamento experimental

A área de aproximadamente 0,46 ha foi dividida em duas subáreas de dimensões 25 x 90 m dispostas na direção leste-oeste, sendo uma cultivada no sistema plantio direto (PD) e a outra em preparo convencional (PC). O

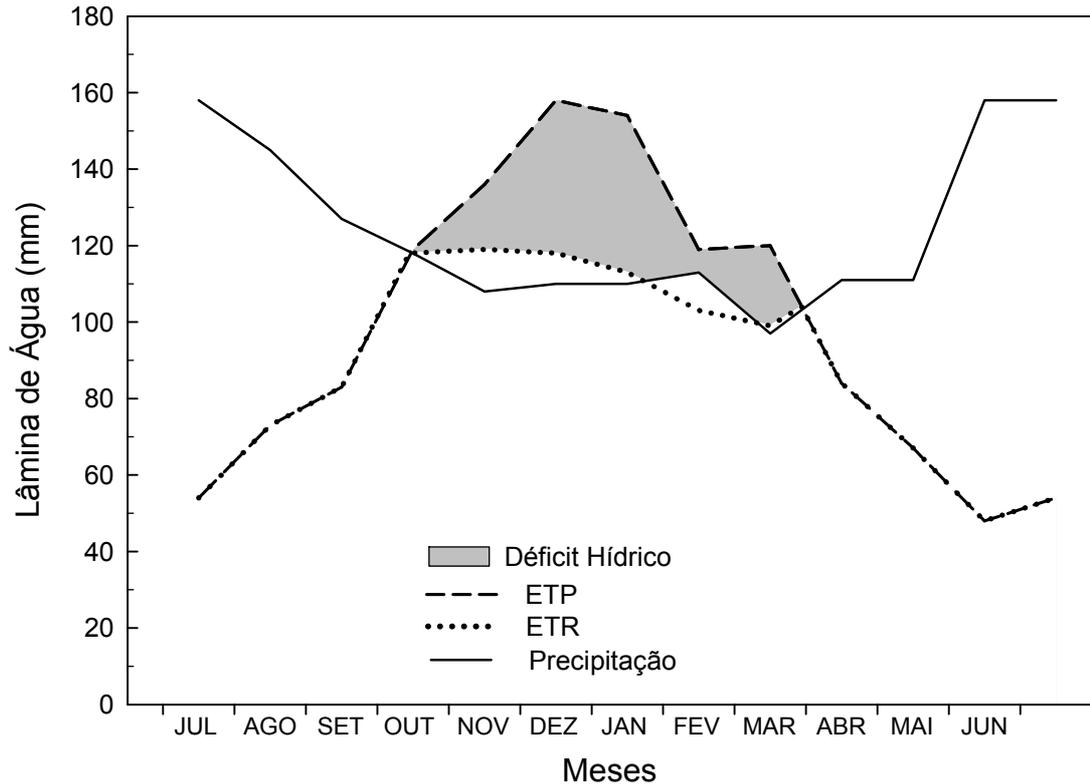


FIGURA 1. Balanço hídrico normal (mm) de cálculo seriado segundo modelo de Thornthwaite-Mather (1955), para 75 mm de armazenagem de água disponível no solo, no período de março de 1970 a fevereiro de 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS. (Adaptado de Bergamaschi et al., 2003).

TABELA 1. Análise química do solo por ocasião da instalação do experimento e antecedendo a semeadura da soja na safra 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS, 2004. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004a - comunicação informal)

Sist. manejo	Prof. m	pH (H ₂ O)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	V	MO
			cmol _c kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		%	
----- Instalação do experimento (1995) -----									
	0,00-0,20	5,9	0,0	2,4	0,7	114,0	8,5	71,3	2,1
----- Ano 2003 -----									
PC	0,00-0,10	4,88	0,52	1,20	0,76	210,6	12,4	35,6	-
N-irrig.	0,10-0,20	5,06	0,36	1,72	0,76	109,2	27,4	39,8	-
PC	0,00-0,10	5,02	0,30	1,50	0,86	179,4	23,2	41,6	-
Irrig.	0,10-0,20	5,36	0,20	1,84	0,90	109,2	10,0	47,4	-
PD	0,00-0,10	4,90	0,34	1,22	0,76	159,9	59,8	37,8	-
N-Irrig.	0,10-0,20	5,24	0,28	1,22	0,70	109,2	33,2	44,0	-
PD	0,00-0,10	4,84	0,44	1,64	1,00	144,3	35,4	40,8	-
Irrig.	0,10-0,20	5,22	0,54	1,86	1,06	89,7	21,6	47,0	-

PC = preparo convencional; PD = plantio direto; Irrig. = irrigado; N-Irrig. = não irrigado.

sistema de culturas adotado foi baseado numa sucessão, com a cultura do milho (*Zea mays*) no verão e o consórcio aveia preta (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*) no inverno. A sucessão foi iniciada com a cobertura de inverno (aveia + ervilhaca), implantada no final do outono de 1995, seguida pelo milho no verão do mesmo ano. O sistema de irrigação por aspersão foi disposto numa linha central que coincide com a divisória das duas subáreas, sendo que a irrigação foi utilizada somente na cultura do milho no período de verão. A distribuição dos tratamentos e do sistema de irrigação na área experimental é apresentada na Figura 2.

Este estudo englobou a combinação de dois sistemas de cultivo e dois níveis de irrigação por aspersão (irrigado e não irrigado). O delineamento experimental foi em faixas, dispostas paralelamente à linha de aspersores (Hanks et al., 1980), com cinco repetições (blocos), onde cada bloco apresentava 15 m de largura. A área de abrangência de cada parcela experimental, onde se realizaram as amostragens de solo, tinha 45 m² (3 x 15 m) (Figura 2).

O solo da subárea conduzida sob sistema PD foi cultivado com ausência total de práticas que mobilizem o solo, excetuando o movimento do solo na linha de semeadura provocado pela ação mecânica do sulcador da máquina semeadora. Os restos culturais foram mantidos sobre o solo após a colheita do milho ou rolagem da cobertura de inverno. O sistema PC consistiu de uma aração e duas gradagens no final de setembro ou início de outubro, visando a posterior semeadura do milho. Além do revolvimento do solo, nesse sistema de preparo houve a incorporação da palhada produzida pelas culturas de inverno e do resíduo remanescente do milho da safra anterior.

Deve-se destacar que o consórcio aveia + ervilhaca sempre foi implantado em sistema PD em todo o experimento. Portanto, mesmo na subárea sob PC não se procedia o preparo do solo na ocasião da semeadura das culturas de inverno.

4.2.2. Condução das culturas

A sucessão aveia + ervilhaca/milho foi mantida durante 8 anos (1995-2003), sendo que os principais tratamentos culturais foram similares durante

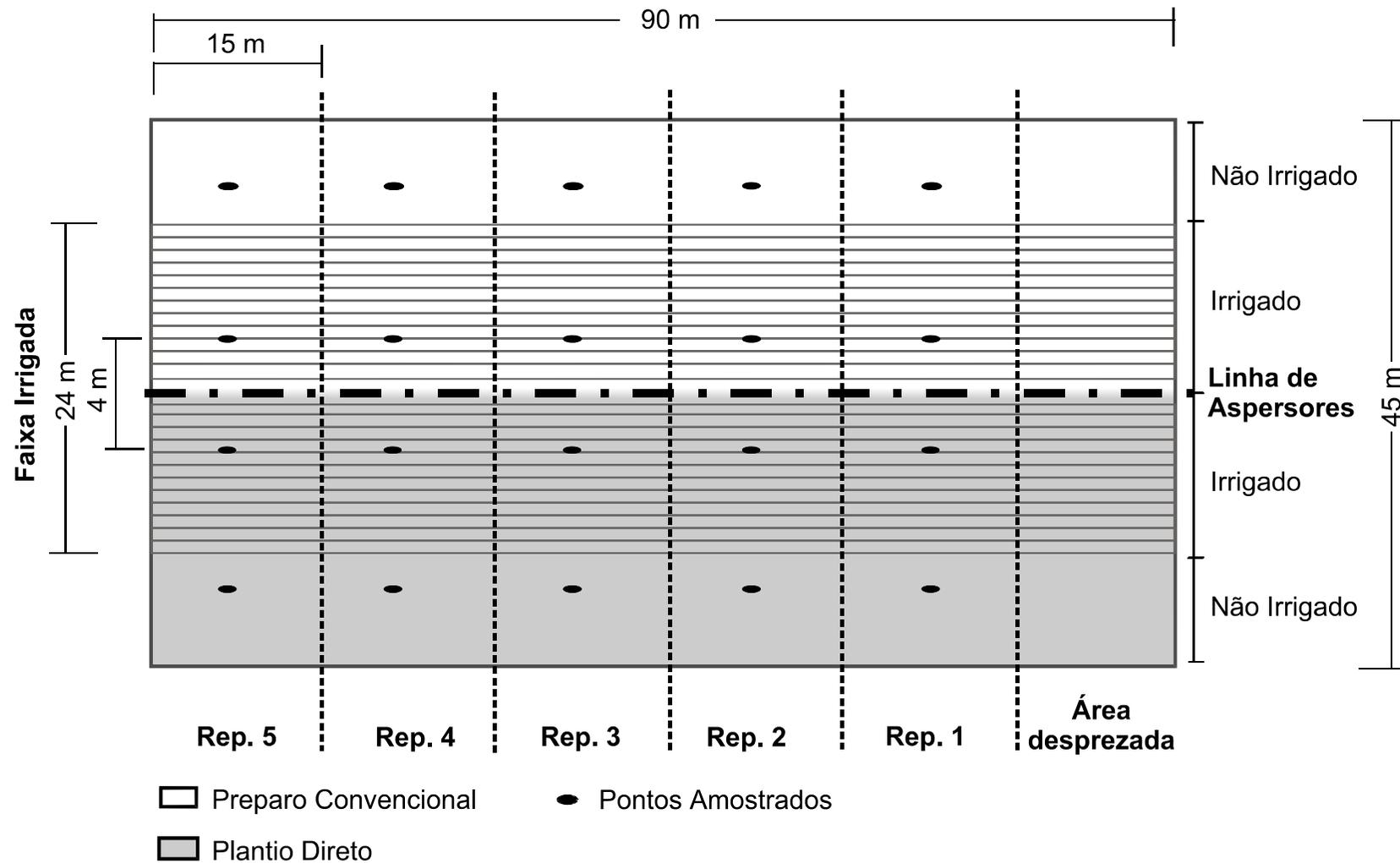


FIGURA 2. Distribuição dos tratamentos no campo experimental, enfatizando os locais de amostragem de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

todo o período. Em 2003 foi introduzida a soja (*Glycine max*) no sistema de culturas, substituindo o milho na safra de verão.

A semeadura do milho foi realizada anualmente entre a última semana de outubro e a primeira semana de novembro. Utilizaram-se os híbridos Pioneer 3230 (safras 95/96 e 96/97), Pioneer 3063 (safras 97/98 a 00/01) e Pioneer 32R21 (safras 01/02 e 02/03). O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 0,75 m e uma população de plantas aproximada de 67000 plantas ha⁻¹. A adubação de base da cultura consistiu em 40 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo o N suplementado em cobertura com duas aplicações de 60 kg ha⁻¹ na forma de uréia.

Do final de maio a início de junho foi semeada a cobertura de inverno, constituída por aveia e ervilhaca, havendo todos os anos um predomínio de aveia na composição do consórcio. A semeadura dessas culturas foi realizada sempre com semeadora de PD com um espaçamento entrelinhas de aproximadamente 0,17 m. Não se utilizou adubação de base, e a adubação de cobertura consistiu na aplicação de 45 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia no estágio de alongamento do colmo da aveia. O manejo das culturas de cobertura foi realizado no estágio de grão leitoso da aveia e consistiu na dessecação com herbicida a base de glifosate e passagem de rolo-faca. Detalhes da produção de grãos e de matéria seca, bem como da adição de C ao solo pela cultura do milho e cobertura de inverno são apresentados nos Apêndices 4 e 5.

A cultura da soja foi semeada no dia 20 de novembro de 2003 em toda a área experimental com semeadora de PD. Utilizou-se a cultivar de ciclo longo RS 10, com espaçamento entrelinhas de 0,40 m, resultando numa população aproximada de 300000 plantas ha⁻¹. A adubação e os tratamentos culturais seguiram as recomendações técnicas para a soja no Estado do RS (REUNIÃO..., 2003). A colheita foi realizada no dia 13 de maio de 2004.

4.2.3. Sistema de irrigação e manejo da água de irrigação

O sistema de irrigação por aspersão foi constituído de uma linha central com 12 aspersores, colocados a 3 m de altura do solo e com espaçamento de 6 m entre aspersores. O recalque de água foi realizado com um conjunto moto-bomba elétrico de 10HP. A faixa irrigada foi de 12 m, para

cada lado, o que correspondeu ao raio de alcance máximo dos aspersores. Na faixa irrigada têm-se diferentes níveis de irrigação que decrescem à medida que se afastam da linha de aspersores. O nível máximo (I4) correspondeu à dose de água necessária para manter o solo próximo à capacidade de campo, sendo seguido pelos níveis I3, I2 e I1, que correspondem a 98%, 41% e 20% da dose do I4, respectivamente. A faixa não irrigada foi denominada de nível I0 de irrigação. Nesse estudo foram selecionados somente os níveis extremos de irrigação, I4 e I0, que representaram as áreas irrigadas e não irrigadas, respectivamente (Figura 2).

O monitoramento da necessidade de irrigação foi realizado por um conjunto de tensiômetros de coluna de mercúrio, instalados até 0,7 m de profundidade no solo. Com o propósito de quantificar a água a ser aplicada, utilizaram-se dados de evapotranspiração medida em lisímetro de pesagem com 5,1 m², localizado no centro de uma parcela homogênea de 0,54 ha adjacente à área experimental. Dados meteorológicos foram coletados em uma estação automática Campbell, localizada a cerca de 50 m do lisímetro (Apêndices 6 e 7).

A irrigação foi realizada somente no ciclo das culturas do milho (safras 95/96 a 02/03) e soja (safra 03/04). Durante os 176 dias decorridos entre a semeadura e a colheita da cultura da soja foram realizadas 11 irrigações, o que correspondeu a uma lâmina total de água aplicada de 191 mm (Figura 3). A cultura foi irrigada sempre que o potencial matricial da água no solo medido pelos tensiômetros de mercúrio atingia $-0,05$ MPa na camada de solo de máxima concentração radicular. Para tal, os tensiômetros foram instalados na linha de semeadura, aproximadamente 0,10 m das plantas, em duas baterias. Uma bateria foi instalada nas profundidades de: 0,075; 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, e a outra em: 0,075; 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90 e 1,05 m. As irrigações se concentraram nos meses de janeiro, fevereiro e março, em períodos em que a precipitação pluvial não supriu a demanda hídrica da cultura (Figura 3, Apêndice 6).

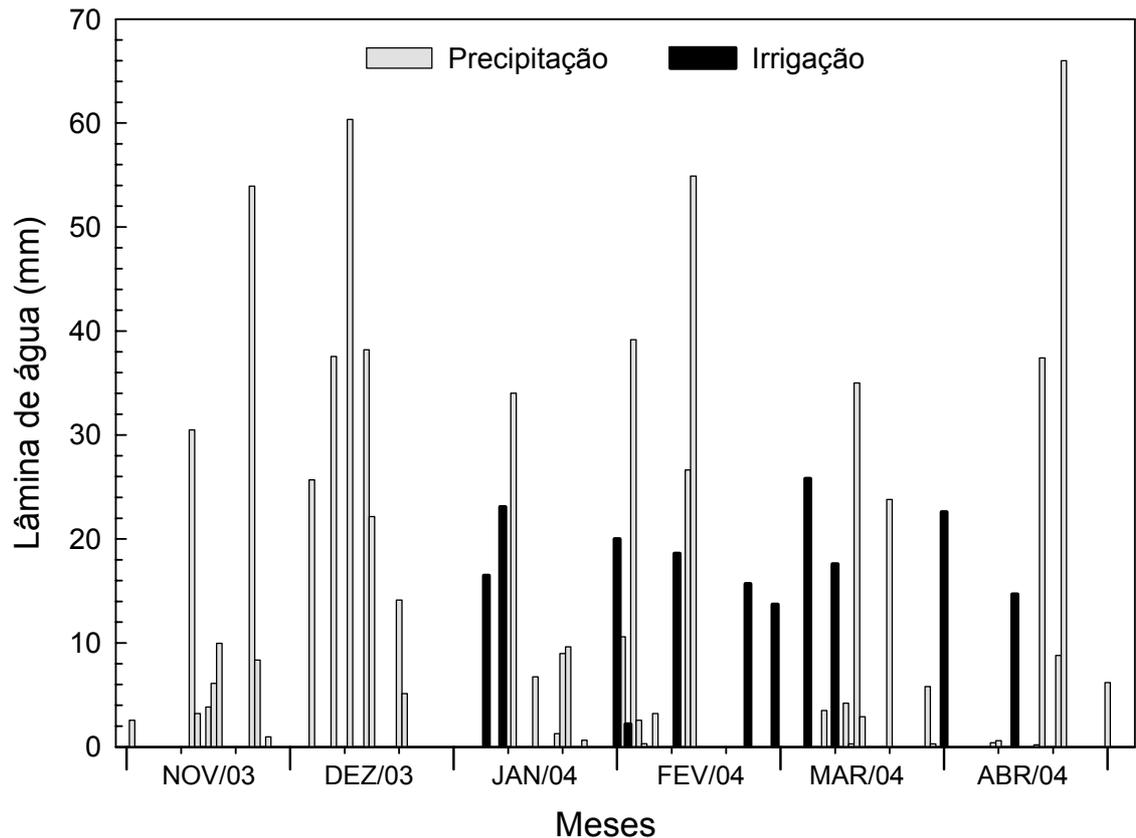


FIGURA 3. Distribuição da precipitação pluviométrica e irrigações realizadas durante a safra agrícola 2003/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

4.3. Avaliações

4.3.1. Avaliação dos teores de C orgânico e N total do solo

4.3.1.1. Amostragem de solo

No início de outubro de 2003, anterior à rolagem da cobertura de inverno (aveia + ervilhaca), realizou-se a amostragem do solo nos sistemas PD e PC, com (I4) e sem (I0) irrigação (Figura 2). Coletou-se uma subamostra por repetição dos tratamentos. A amostragem foi manual com auxílio de espátulas, e consistiu na coleta de uma área retangular de 0,20 x 0,50 m nas profundidades de: 0-0,025; 0,025-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m. Anterior à coleta, os resíduos vegetais grosseiros sobre a superfície do solo foram retirados por catação manual. Amostraram-se também cinco subamostras em uma área de campo nativo, adjacente à área experimental, a qual foi utilizada como referência da condição natural do solo.

As amostras de solo foram secas ao ar, moídas em moinho de bolas até passagem em peneira com malha 2 mm de diâmetro e armazenadas em potes plásticos.

4.3.1.2. Análises de C e N e cálculo dos estoques desses elementos no solo

As amostras de solo (< 2 mm) foram moídas em almofariz de ágata e submetidas à análise de C orgânico e N total. A análise de C orgânico foi realizada por combustão seca em equipamento SHIMADZU TOC-V CSH, onde o CO₂ gerado foi quantificado em detector de infravermelho. Os teores de N total do solo foram determinados por digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Calcularam-se os estoques de C orgânico e N total do solo em função da camada e da massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995).

Segundo a metodologia da camada equivalente de solo, os estoques de C orgânico e N total do solo (Mg ha⁻¹) foram calculados levando-se em consideração a densidade do solo (Tabela 2), teores desses elementos no solo e espessura (*E*) de cada camada amostrada:

$$\text{Estoque} = \text{conc} \times \rho_s \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mg kg}^{-1} \quad (4.1.)$$

onde:

Estoque = massa de C orgânico ou N total por unidade de área (Mg ha⁻¹)

conc = concentração de C orgânico ou N total (kg Mg⁻¹ solo)

ρ_s = densidade do solo correspondente à camada amostrada (Mg m⁻³)

E = espessura da camada amostrada (m)

TABELA 2. Densidade do solo no sistema preparo convencional (PC), plantio direto (PD) e campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS. 2004.

Profundidade	PC	PD	Campo Nativo
----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----		
0,00-0,05	1,74	1,63	1,47
0,05-0,10	1,60	1,61	1,69
0,10-0,20	1,58	1,65	1,75

Para estimar os estoques de C orgânico e N total pelo método da massa equivalente levou-se em consideração a massa relativa do solo nos diferentes tratamentos:

$$M_{solo} = \rho_s \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \quad (4.2.)$$

onde:

M_{solo} = massa do solo por unidade de área (Mg ha^{-1})

A área sob campo nativo foi utilizada como referência, sendo a que apresentou maior massa de solo na camada de 0-0,20 m dentre os tratamentos em estudo. A massa de solo de cada camada da área de referência foi tomada como base de cálculo para as correspondentes camadas do solo nos sistemas PC e PD, sendo as espessuras ajustadas. A espessura da camada de solo a ser adicionada ou subtraída para atingir o valor da massa equivalente (solo referência) foi determinada pela seguinte equação:

$$E_{ad/sub} = \frac{(M_{ref.} - M_{trat.}) \times 0,0001 \text{ ha m}^{-2}}{\rho_{s \text{ trat.}}} \quad (4.3.)$$

onde:

$E_{ad/sub}$ = espessura de solo a ser adicionada ou subtraída de determinada camada do tratamento para atingir o correspondente valor de massa equivalente (m)

$M_{ref.}$ = massa equivalente de solo da respectiva camada na área de referência (Mg ha^{-1})

$M_{trat.}$ = massa de solo da respectiva camada do tratamento (Mg ha^{-1})

$\rho_{s \text{ trat.}}$ = densidade do solo na camada do tratamento (Mg m^{-3})

As massas de C orgânico e N total por unidade de área em massa equivalente de solo ($Estoque_{equiv}$), expressas em Mg ha^{-1} , foram obtidas pela equação:

$$Estoque_{equiv} = conc \times \rho_s \times (E \pm E_{ad/sub}) \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mg kg}^{-1} \quad (4.4.)$$

4.3.2. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

A quantificação da fração leve (FL) da MOS foi realizada em cada subcamada de solo, em duplicata, sendo o solo para análise retirado de amostras compostas por amostras provenientes das cinco repetições. Realizou-se a análise pelo método de fracionamento físico densimétrico com NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ e uso de aparelho de ultra-som (Figura 4).

Inicialmente, adicionou-se 20 g de solo seco ($< 2 \text{ mm}$) a um tubo de centrifuga de polietileno (100 mL). Em seguida, adicionaram-se 80 mL de NaI $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (pH = 6,8 obtido mediante adição de HCl 1M – aproximadamente 7 mL por litro de NaI). A suspensão solo-iodeto foi submetida à sonicação com aparelho de ultra-som, cuja função primordial foi liberar a FL do interior dos agregados do solo através da aplicação de energia que se propaga na forma de microbolhas. Utilizou-se um aparelho de ultrassom SONICS & MATERIALS (VIBRA CELL™, MODEL VCX 400, frequência de 20 kHz) previamente calibrado e sintonizado. Empregou-se um fluxo de energia de 350 J mL^{-1} , o qual foi definido em testes prévios. A ponteira da sonda ficou inserida 0,02 m na suspensão solo-iodeto dentro do tubo de centrifuga durante a sonicação, o qual foi mantido em água com gelo para evitar que a suspensão atingisse temperatura superior a 40°C . Após a sonicação as amostras foram submetidas à centrifugação em centrífuga SIGMA 2K15 (capacidade 400 mL) regulada a $2000 \times g$ por 30 minutos. Posteriormente, filtrou-se o sobrenadante em um conjunto para filtração a vácuo utilizando filtro de fibra de vidro (WHATMAN®, Grade GF/C, porosidade $1,2 \mu\text{m}$, 47 mm de diâmetro). Esse filtro não contém C em sua constituição e deve ser seco em estufa a 60°C por 2 h, esfriar em dessecador e pesado antes de iniciar as filtrações. A FL retida no filtro e o próprio filtro foram colocados sobre vidro de relógio e levados a estufa por 18 h (60°C). Após a secagem em estufa, a FL e o filtro de fibra de vidro foram moídos em almofariz de ágata e analisados em relação ao teor de C da FL. A determinação do C da FL foi realizada em analisador de C orgânico (SHIMADZU TOC-V CSH).

O estoque de C da FL da MOS foi calculado segundo a metodologia da massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995), sendo a estimativa realizada a partir da concentração do elemento no solo:

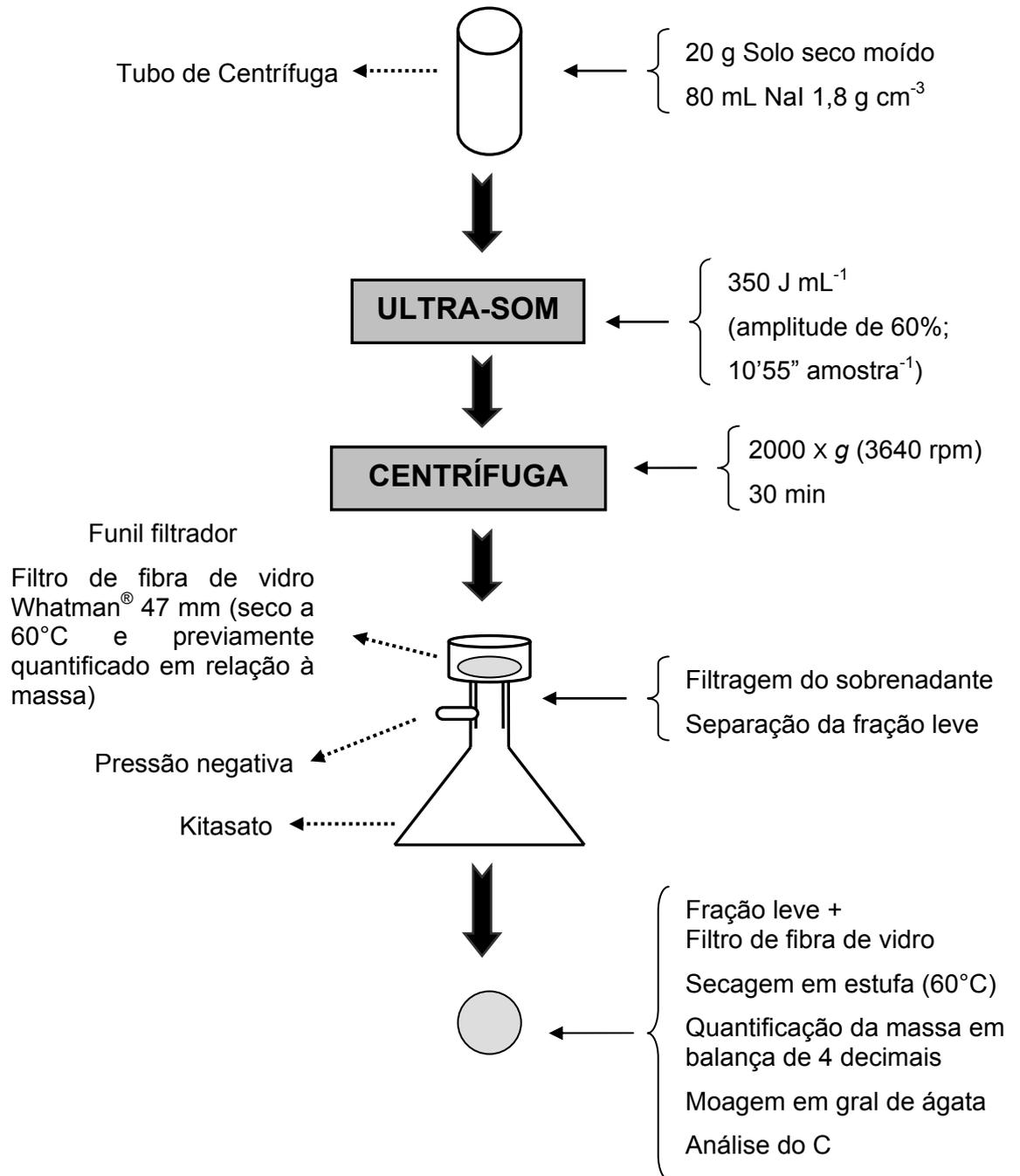


FIGURA 4. Apresentação esquemática do fracionamento físico densimétrico do solo realizado. UFRGS, 2004.

$$conc_{C-FL} = \left(\frac{\%C \times m_{fil+FL}}{m_{amostra}} \right) \times 1000 \text{ kg Mg}^{-1} \quad (4.5.)$$

onde:

$conc_{C-FL}$ = concentração de C da FL da MOS (kg Mg⁻¹ solo)

m_{fil+FL} = massa total = massa do filtro de fibra de vidro + FL da MOS (g)

$\%C$ = teor de C determinado em equipamento SHIMADZU

$m_{amostra}$ = massa da amostra de solo fracionada (g)

A concentração de C da fração pesada (C-FP) da MOS foi obtida por diferença conforme a equação que segue:

$$conc_{C-FP} = conc_C - conc_{C-FL} \quad (4.6.)$$

onde:

$conc_{C-FP}$ = concentração de C da FP da MOS (kg Mg⁻¹ solo)

$conc_C$ = concentração de C orgânico do solo (kg Mg⁻¹ solo)

4.3.3. Cálculo do Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo

O IMC do solo foi obtido a partir das concentrações de C das frações leve e pesada da MOS. A estimativa IMC foi realizada com base nos dados médios da camada total do solo (0-0,20 m), onde o solo na condição natural (campo nativo) foi tomado como referência (IMC = 100). Inicialmente, foram estimados o índice de estoque de C (IEC), a labilidade do C (LC) e o índice de labilidade do C (ILC) dos solos:

$$IEC = \frac{conc_{C \text{ trat.}}}{conc_{C \text{ Ref.}}} \quad (4.7.)$$

$$LC = \frac{conc_{C-FL}}{conc_{C-FP}} \quad ILC = \frac{LC_{trat.}}{LC_{Ref.}} \quad (4.8.)$$

onde:

IEC	= índice de estoque de C orgânico do solo
$conc_C_{trat.}$	= concentração de C orgânico do solo do tratamento (kg Mg ⁻¹ solo)
$conc_C_{Ref.}$	= concentração de C orgânico do solo do sistema referência (kg Mg ⁻¹ solo)
LC	= labilidade do C orgânico do solo
$conc_{C-FL}$	= concentração de C da FL da MOS (kg Mg ⁻¹ solo)
$conc_{C-FP}$	= concentração de C da FP da MOS (kg Mg ⁻¹ solo)
ILC	= índice de labilidade do C orgânico do solo
$LC_{trat.}$	= labilidade do C orgânico do solo do tratamento
$LC_{Ref.}$	= labilidade do C orgânico do solo do sistema referência

A partir do IEC e ILC foi calculado o índice de manejo de carbono (IMC) expresso em porcentagem:

$$IMC = IEC \times ILC \times 100 \quad (4.9.)$$

4.3.4. Avaliação da decomposição de resíduos vegetais

4.3.4.1. Uso de sacos de decomposição (*litter bags*)

Inicialmente, vale salientar que a avaliação da decomposição de resíduos foi incluída nesse estudo baseado na hipótese de que a decomposição do material vegetal no solo é um indicador da dinâmica da decomposição da MOS. De acordo com essa hipótese, a decomposição dos resíduos vegetais em resposta aos efeitos dos tratamentos de preparo e uso da irrigação por aspersão reflete a decomposição que ocorre na MOS.

Visando avaliar a taxa de decomposição de resíduos vegetais foram utilizados sacos de decomposição com resíduos de culturas de inverno distribuídos nos quatro tratamentos (PD e PC, ambos com e sem irrigação). Utilizaram-se três diferentes composições residuais para constituir os sacos de decomposição: aveia, ervilhaca e aveia + ervilhaca (relação m/m 1:1). Os sacos de decomposição possuíam dimensões internas de 0,20 x 0,20 m e foram preenchidos com 16 g de resíduos secos ao ar (7,5% de umidade) e

grosseiramente picados (aproximadamente 5 cm), correspondendo a 3,7 Mg MS ha⁻¹.

Os sacos de decomposição foram colocados no campo logo após a semeadura da soja, na segunda quinzena de novembro, sendo recolhidos ao longo do tempo até a metade do mês de abril (maturação fisiológica da cultura). No solo em PC os sacos de decomposição foram enterrados a aproximadamente 0,08 m de profundidade, enquanto que no sistema PD os mesmos foram dispostos sobre a superfície do solo. As coletas foram realizadas aos 10, 21, 34, 52, 73, 94 e 142 dias após a colocação no campo. Após o recolhimento, as amostras foram congeladas e mantidas em *freezer* para conservação até a análise.

Durante esse período foram monitoradas as variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar, evapotranspiração e precipitação pluvial (Apêndices 6 e 7). Os dados meteorológicos foram registrados diariamente pela estação meteorológica automática Campbell do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, situada a uma distância aproximada de 10 m da área experimental.

4.3.4.2. Análise de C dos resíduos vegetais dos sacos de decomposição

Primeiramente, os resíduos foram retirados dos sacos de decomposição e postos para secagem ao ar livre. As raízes de plantas que cresceram para o interior dos sacos foram removidas de forma manual. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 60°C por 48h e pesadas. A amostra seca de resíduo vegetal, juntamente com o solo seco aderido, foi moída em moinho de rotor TECNAL TE-648. Uma subamostra foi utilizada para quantificação do conteúdo de cinzas após queima em mufla SANCHIS[®] a 550°C por 5h. Na ocasião, também se determinou o conteúdo de cinzas do solo e dos resíduos iniciais (resíduos vegetais originais). A determinação do C das amostras foi realizada em analisador de SHIMADZU TOC-V CSH por combustão seca.

O teor de C das amostras (mg por saco de decomposição) foi corrigido em função da quantidade de solo presente nos sacos. A correção foi realizada conforme as equações a seguir, partindo do pressuposto que o solo

dentro e fora dos sacos de decomposição possuía composição similar (Christensen, 1985):

$$Massa_{Elemento\ Cor.} = Massa_{Amostra} - Massa_{Solo\ Saco\ Dec.} \quad (4.10.)$$

$$Massa_{Solo\ Saco\ Dec.} = \left(\frac{conc\ C_{Solo}}{Cinzas_{Solo}} \right) \times (Cinzas_{Amostra} - Cinzas_{Res.\ Inicial}) \quad (4.11.)$$

onde:

$Massa_{Elemento\ Cor.}$ = quantidade do elemento C, corrigido, dos resíduos remanescentes no saco de decomposição (mg)

$Massa_{Amostra}$ = quantidade de C da amostra (resíduo + solo) do saco de decomposição (mg)

$Massa_{Solo\ Saco\ Dec.}$ = quantidade de C correspondente ao solo que entrou no saco de decomposição (mg)

$conc\ C_{Solo}$ = concentração de C do solo (%)

$Cinzas_{Solo}$ = conteúdo de cinzas do solo (%)

$Cinzas_{Amostra}$ = conteúdo de cinzas da amostra (resíduo + solo) do saco de decomposição (mg)

$Cinzas_{Res.\ Inicial}$ = conteúdo de cinzas do resíduo inicial do saco de decomposição (mg)

A taxa de decomposição dos resíduos foi estimada pela redução na quantidade de C presente nos sacos de decomposição em função do tempo, calculada com base na quantidade inicial desse elemento disposto nos sacos de decomposição:

$$Teor_{Elemento\ Rem.} = \left(\frac{Massa_{Elemento\ Cor.}}{Massa_{Res.\ Inicial}} \right) \quad (4.12.)$$

onde:

$Teor_{Elemento\ Rem.}$ = quantidade do elemento C do resíduo inicial remanescente na amostra ($mg\ g^{-1}$ resíduo original)

$Massa_{Res. Inicial}$ = massa do resíduo vegetal inicial colocado no saco de decomposição (g)

4.4. Estimativa do seqüestro de C

Devido à escassez de dados na literatura, referentes aos gastos energéticos ligados à irrigação por aspersão convencional utilizada nesta pesquisa, optou-se pela realização das estimativas dos custos de C da irrigação com base nos consumos energéticos demandados pelo sistema de irrigação pivô central, operando em seis diferentes dimensionamentos (30, 50, 70, 90, 110 e 130 ha de área total irrigada) (Carlesso & Spohr, 2004 – comunicação informal) (Apêndice 8). Consideraram-se somente as fontes energéticas diesel e energia elétrica (gerada exclusivamente por usina termelétrica), utilizadas para o bombeamento da água de irrigação e funcionamento dos motores de propulsão do equipamento de irrigação pivô central.

Vale ressaltar que, além da dificuldade de obtenção de dados sobre o consumo energético da irrigação por aspersão convencional, outro fator importante que foi considerado para a estimativa do seqüestro de C no solo irrigado por sistema pivô central, reside no fato de que este é atualmente o método de irrigação que mais contribui para o aumento da área irrigada brasileira (Mittmann, 2004). Acredita-se, também, que a dinâmica do C orgânico no solo seja similar para as áreas irrigadas por aspersão, independente do método de irrigação empregado (pivô central, convencional, canhões autopropelidos).

O consumo energético de diesel e/ou energia elétrica devido à irrigação varia em função da área irrigada, eficiência da aplicação da água do sistema de irrigação, dimensão da bomba de irrigação e quantidade de água requerida pela cultura durante todo o ciclo. Neste trabalho, o gasto energético foi calculado para o sistema pivô central, irrigando a cultura do milho no período de verão (safra normal), cuja suplementação hídrica média do ciclo da cultura, nos 8 anos de cultivo, foi de 194,6 mm (Apêndice 9).

O custo em C equivalente (CE) foi determinado utilizando os coeficientes de conversão apresentados por Lal (2004), os quais se referem à quantidade de CE emitida para a atmosfera na queima de um quilo de um

combustível fóssil ou na produção de uma unidade de energia. Segundo Lal (2004), os coeficientes de conversão para CE relativos às fontes energéticas diesel e energia elétrica são 0,94 e $7,25 \times 10^{-2}$ kg CE, respectivamente.

Determinou-se a emissão de C devido ao uso da irrigação por aspersão em $\text{Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, utilizando diesel e energia elétrica como fontes de energia (Apêndice 9), pelas seguintes equações:

$$CE_{Diesel} = EC_{Diesel} \cdot D_{Diesel} \cdot 0,94 \quad (4.13.)$$

onde:

CE_{Diesel} = C emitido pelo uso da irrigação por aspersão utilizando diesel como fonte de energia ($\text{Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

EC_{Diesel} = volume de diesel consumido na irrigação ($\text{L ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

D_{Diesel} = densidade do óleo diesel ($0,850 \text{ Mg m}^{-3}$).

$$CE_{En.Elet.} = EC_{En.Elet.} \cdot 7,5 \times 10^{-2} \quad (4.14.)$$

onde:

$CE_{En.Elet.}$ = C emitido pelo uso da irrigação por aspersão utilizando energia elétrica (termoelétrica) como fonte de energia ($\text{Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

$EC_{En.Elet.}$ = quantidade de energia elétrica consumida na irrigação ($\text{kWh ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Os custos de C referentes às operações agrícolas de implantação da cultura do milho nos sistemas de preparo PC e PD foram calculados utilizando os coeficientes de conversão médios sugeridos por Lal (2004) (Apêndice 10). As estimativas foram realizadas considerando somente as operações agrícolas de lavração, gradagem e semeadura utilizadas ou não em cada sistema de preparo do solo (Apêndice 11). Os custos de C devido ao uso de fertilizantes, herbicidas, inseticidas e fungicidas foram desconsiderados, a título de comparação entre PC e PD, pois foram similares em ambos os sistemas de manejo.

Os estoques de C acumulados (seqüestrados) no solo na forma de C orgânico foram calculados em relação ao solo sob sistema PC não irrigado,

tendo o propósito de avaliar os efeitos da adoção do sistema conservacionista (PD) e do uso da irrigação por aspersão no seqüestro do CO₂ atmosférico.

Realizou-se o balanço entre o C emitido pela irrigação e operações agrícolas, e o C seqüestrado na MOS, em termos anuais e cumulativos, para os oito anos de histórico do experimento.

4.5. Análise estatística

As concentrações e os estoques de C orgânico e N total do solo foram analisados seguindo o delineamento experimental em faixas (Split Block) (Banzatto & Kronka, 1995) pelo aplicativo estatístico SAS (System Analysis Statistic). Avaliaram-se os fatores preparo (PD e PC), irrigação (com e sem irrigação por aspersão), profundidade (0,0-0,025; 0,025-0,050; 0,050-0,10; 0,10-0,20 e 0,0-0,20 m) e repetição (cinco), sendo inicialmente testado o grau de interação nos três primeiros. Nos casos onde não ocorreu interação, mas a profundidade apresentou diferença significativa, fixou-se esse fator e se avaliaram os efeitos principais dos fatores preparo e irrigação. A comparação múltipla de médias foi realizada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os dados referentes ao C dos resíduos vegetais remanescente nos sacos de decomposição foram submetidos à análise de regressão, com auxílio do programa computacional Sigma Plot[®]. Equações de regressão do tipo exponencial simples (Wieder & Lang, 1985) foram ajustadas para explicar a relação entre tempo e C dos resíduos remanescente nos sacos de decomposição (taxa de decomposição dos resíduos vegetais).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Adição de C pelas culturas

Com base nos dados históricos de oito anos de experimento, pode-se observar na Tabela 3 o efeito da suplementação hídrica via irrigação por aspersão no aumento da adição anual de C ao solo. O uso da irrigação aumentou a produção de fitomassa das plantas e resultou, na média dos sistemas PC e PD, um incremento de 19% ($1,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na adição de C em comparação ao sistema não irrigado ($8,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Essa resposta positiva na produção das plantas ao aporte de água foi devida, principalmente, à redução no déficit hídrico durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas (Tabela 3). O déficit hídrico médio encontrado para a área não irrigada e irrigada foi de 207,8 e 112 mm, respectivamente, indicando uma diminuição desse em aproximadamente 46% com a irrigação. Bergamaschi (1992) destaca o efeito negativo do déficit hídrico sobre o desenvolvimento das culturas, causando diminuição da área foliar, redução na eficiência fotossintética e, por conseguinte, afetando outros processos fisiológicos, tais como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

Convém ressaltar que o déficit hídrico apresentado na Tabela 3 é parcial e foi determinado pelo balanço hídrico calculado para o período referente aos ciclos de cultivo das safras de milho (Apêndices 12 a 19), pois a irrigação somente foi utilizada no período dessa cultura durante o ano. Além disso, é importante lembrar que a estimativa do balanço hídrico considera uma capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) no solo fixa durante todo o ciclo da cultura (CAD = 75 mm, neste estudo), motivo pelo qual se observa déficit hídrico mesmo em condições irrigadas. As adições anuais de C ao solo correspondem ao somatório do C relativo à parte aérea e radicular (30%) das culturas de cobertura (aveia+ervilhaca) no inverno e do milho no verão (Apêndice 4). As diferenças entre os sistemas de preparo, no que se

TABELA 3. Variação do déficit hídrico, suplementação hídrica e adição anual de C ao solo para as áreas irrigadas e não irrigadas por aspersão cultivadas em plantio direto e preparo convencional no período experimental 1995-2002. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Ano	Déficit Hídrico (mm)*		Suplemento Hídrico (mm)	Adição Carbono (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	Não Irrigado	Irrigado		Não Irrigado	Irrigado
1995	299	181	232,7	11,3	11,3
1996	192	93	213,4	7,8	10,0
1997	108	92	41	8,4	8,8
1998	359	179	209	7,0	9,3
1999	315	100	400,8	7,1	10,1
2000	82	79	135	10,1	10,2
2001	164	113	154,4	9,6	10,2
2002	144	59	170,3	6,1	10,2
Média	207,8	112	194,6	8,4	10,0
Acumulado (Mg ha ⁻¹)	-	-	-	67,4	80,1

*Balanço hídrico correspondente ao ciclo de cultivo das safras de milho (Anexos 12 a 19).

refere à adição de C não foram significativas, sendo tratadas na média dos mesmos.

Considerando os valores médios, pode-se afirmar que o aporte de 1 mm de água via irrigação aumentou a adição de C ao solo em cerca de 8 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Após oito anos de condução deste estudo, a área irrigada recebeu aproximadamente o equivalente a 12,7 Mg ha⁻¹ de C na forma de resíduos vegetais a mais que a área não irrigada (Tabela 3). Segundo Bergonci et al. (2001), as diferenças na produção entre culturas irrigadas e não irrigadas se acentuam quando o déficit hídrico coincide com o período crítico de crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando mais o rendimento de grãos do que a matéria seca total.

5.2. Decomposição de resíduos vegetais

A Figura 5 apresenta a dinâmica da decomposição dos resíduos vegetais de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca no solo cultivado sob PD e PC, com e sem irrigação por aspersão, expressa pela quantidade de C remanescente nos sacos de decomposição em função do tempo transcorrido após a sua colocação no campo (Apêndices 20 e 22) (Apêndice 21 – resultados não apresentados). Na Figura 5a, que contempla a decomposição dos resíduos culturais de aveia, verifica-se uma maior decomposição no sistema de cultivo PC em relação ao PD, independente do uso ou não da irrigação. Aproximadamente 50% do C original da aveia havia sido oxidado após 38 dias de disposição no solo sob PC, enquanto que no solo em PD isso só ocorreu por volta dos 80 dias. Outros trabalhos na literatura também constataram decomposições mais elevadas dos resíduos vegetais sob PC em relação ao PD (Amado et al. 2000; Acosta et al. 2001).

Uma das principais causas do aumento na decomposição dos resíduos vegetais do sistema PC comparado ao PD é o maior contato solo-microrganismo-resíduo vegetal, promovido pelo revolvimento do solo neste método de preparo. Entre outros fatores importantes deve-se considerar a ação decompositora da fauna que habita o interior do solo sobre os resíduos, bem como os efeitos relacionados às alterações na temperatura do solo (Sdiras & Pavan, 1986; Salton & Mielniczuk, 1995; Dalmago et al., 2004; Comiran et al., 2004). Fica ainda evidente que os ciclos de umedecimento-secagem e o

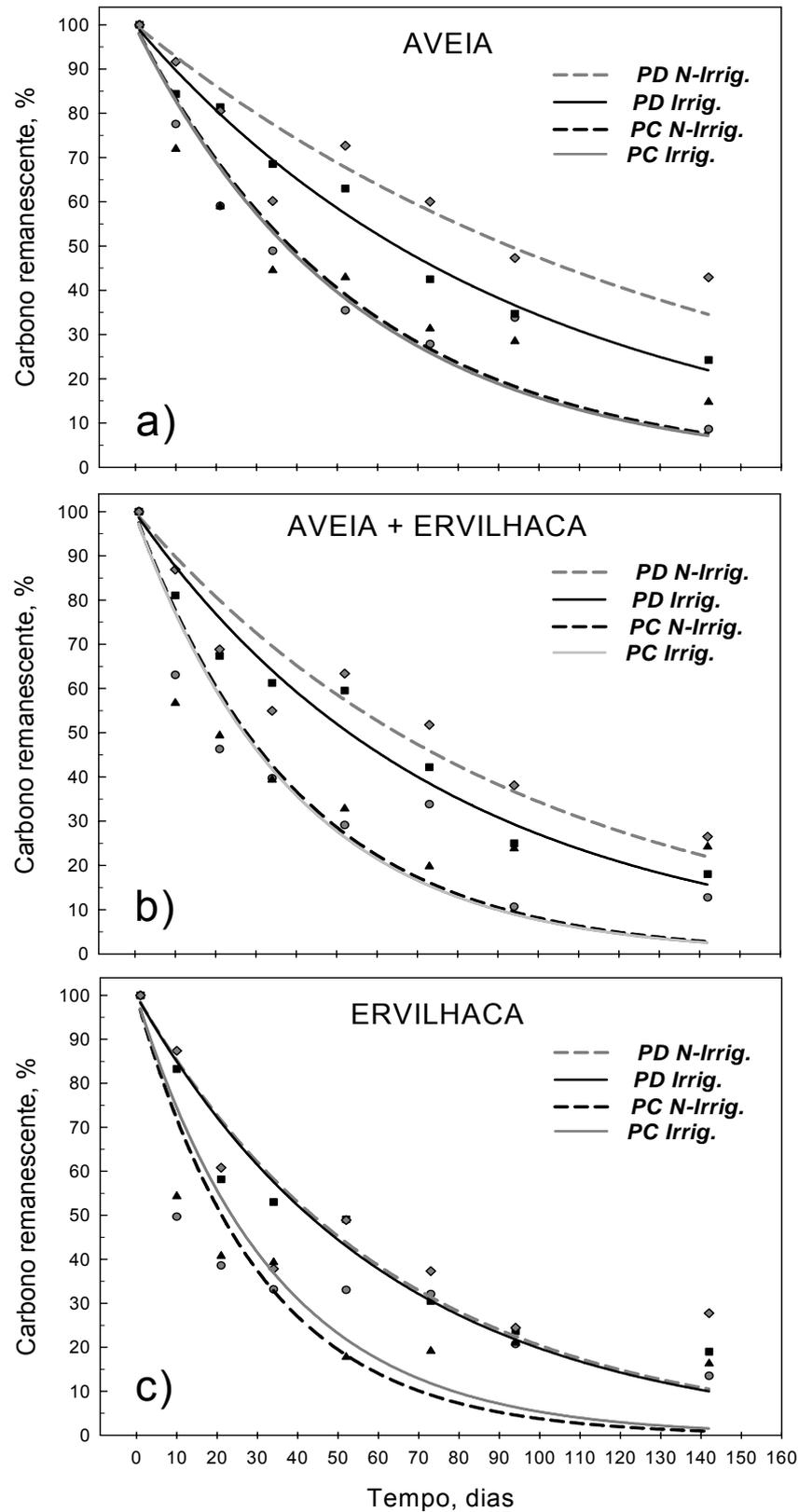


FIGURA 5. Carbono remanescente dos resíduos culturais de aveia (a), aveia + ervilhaca (b) e ervilhaca (c) no solo cultivado sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig) por aspersão, em avaliações realizadas *in situ* até 142 dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.

contato limitado entre superfície do solo e resíduo (Amado et al., 2000; Acosta et al., 2001; Amado et al., 2003), tendem a reduzir e dificultar o ataque microbiano aos resíduos no solo cultivado em PD.

Na Tabela 4 são apresentadas às taxas de decomposição dos resíduos de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca para o PD e PC, com e sem irrigação, estimadas a partir das equações de ajuste das curvas de decomposição (Wieder & Lang, 1982). Nesta tabela também são encontrados os respectivos coeficientes de determinação das equações. As equações de ajuste utilizadas seguem o modelo exponencial simples proposto por Wieder & Lang (1982) e definido por: $C_y = C_i e^{-kt}$, onde C_y é a percentagem do C original do resíduo vegetal remanescente no saco de decomposição no tempo t , C_i é o C original do resíduo (100%), e k é a taxa de decomposição do resíduo vegetal expresso em % dia⁻¹.

TABELA 4. Taxas diárias de decomposição (k) e coeficientes de determinação (R^2) das equações de ajuste ($C_y = C_i e^{-kt}$) para a cinética de decomposição dos resíduos vegetais de aveia, aveia + ervilhaca e ervilhaca no solo submetido aos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.

Tratamentos	Aveia		Aveia + Ervilhaca		Ervilhaca	
	k (% dia ⁻¹)	R ²	k (% dia ⁻¹)	R ²	k (% dia ⁻¹)	R ²
PC Não Irrigado	0,0180	0,90	0,0249	0,73	0,0327	0,81
PC Irrigado	0,0184	0,93	0,0254	0,86	0,0292	0,64
PD Não Irrigado	0,0075	0,85	0,0107	0,89	0,0159	0,83
PD Irrigado	0,0106	0,98	0,0130	0,95	0,0162	0,94

Avaliando os efeitos da irrigação sobre a decomposição dos resíduos de aveia dentro dos sistemas de preparo (Figura 5a), verifica-se claramente no solo em sistema PD um padrão diferenciado das curvas de decomposição entre os tratamentos de irrigação, onde o resíduo colocado sobre o solo em PD irrigado apresentou uma maior taxa de decomposição

(0,0106 % dia⁻¹) do que o resíduo disposto sobre o solo em PD não irrigado (0,0075 % dia⁻¹) (Tabela 4). Por outro lado, no solo em PC não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos irrigado ($k = 0,0184$ % dia⁻¹) e não irrigado ($k = 0,0180$ % dia⁻¹), sendo que as curvas de decomposição estão praticamente sobrepostas. Os resultados demonstram que com o uso da irrigação em PD, a oxidação de 50% do C original dos resíduos de aveia ocorreu em aproximadamente 70 dias, enquanto no sistema sem irrigação, igual condição foi atingida por volta dos 110 dias após a colocação dos sacos de decomposição no campo (Figura 5a).

A maior decomposição dos resíduos de aveia observada no sistema PD irrigado em relação ao PD não irrigado (Figura 5a, Tabela 4) é devido, provavelmente, ao aumento da atividade microbiana pelo aumento da água disponível no solo aos microrganismos. A água é um dos fatores essenciais à atividade metabólica dos organismos em geral, sendo que sua deficiência limita o crescimento e desenvolvimento destes (Alexander, 1961). Esse autor salienta que a água é o principal componente do protoplasma celular dos microrganismos, atuando nos processos de catálises químicas, sendo essencial um suprimento adequado desse elemento para que haja um ótimo desenvolvimento microbiano.

O balanço hídrico calculado para a cultura da soja demonstra a maior disponibilidade de água no tratamento irrigado em relação ao não irrigado (Figura 6). Observa-se que a suplementação hídrica via irrigação por aspersão no total de 191 mm reduziu o déficit hídrico de 280 para 160 mm. Supõe-se que o aporte de água pela irrigação aumentou o conteúdo de água do solo não somente para as plantas, mas também para os microrganismos do solo, de modo que sua atividade foi intensificada, culminando em taxas de decomposição do material vegetal mais elevadas (Tabela 4), principalmente no sistema PD.

O fato de não terem sido verificadas diferenças na decomposição dos resíduos de aveia entre o tratamento irrigado e não irrigado do PC, é atribuído ao menor aumento da água disponível aos microrganismos na profundidade em que o resíduo estava enterrado (aproximadamente 0,08 m) quando comparado à superfície do solo em PD. Sabendo que a lâmina máxima

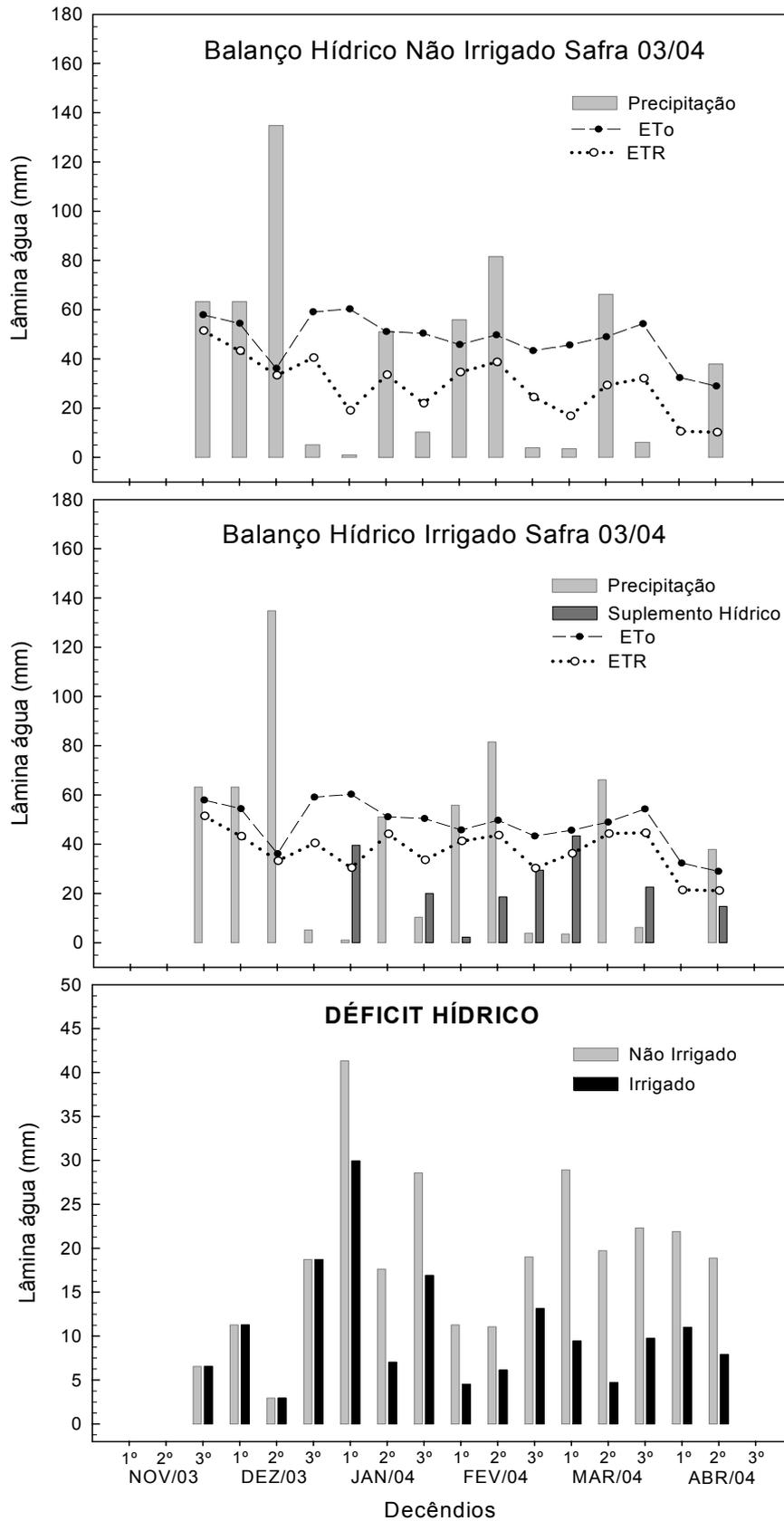


FIGURA 6. Balanço hídrico calculado para a cultura da soja em condições irrigadas e não irrigada por aspersão para o período compreendido entre a semeadura e maturação fisiológica da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004.

de irrigação aplicada foi cerca de 26 mm, associado as altas evapotranspirações do período de verão (Apêndices 6 e 7), acredita-se que a suplementação hídrica tenha ocasionado um pequeno aumento na umidade do solo naquela profundidade do solo, com inexpressivos reflexos no aumento da atividade microbiana.

É importante também lembrar que questões ligadas à porosidade do solo em PC, as quais podem restringir a aeração, acabam determinando uma dinâmica de decomposição dos resíduos distinta. Ao determinar a porosidade do solo em PC da área em estudo, Dalmago (2004) verificou que a macroporosidade na camada 0-0,10 m ficou abaixo do limite crítico de $0,1 \text{ cm}^{-3}$, sendo este valor considerado o limite crítico para uma adequada aeração do solo (Vomocil & Flocker, 1961). Segundo os autores, valores inferiores a este resultam numa difusão de oxigênio não suficiente para o desempenho das funções vitais das raízes e fauna do solo, o que nos leva a concluir que, possivelmente, a atividade microbiana também seja afetada.

Vale salientar que a irrigação foi utilizada somente após 41 dias de colocação dos resíduos de aveia no campo (Apêndice 6), sendo que o período que antecedeu o uso da irrigação foi marcado por freqüente ocorrência de chuva (266,3 mm) (Figura 6), o que resultou em altas taxas de decomposição dos materiais vegetais, principalmente no solo em PC (Tabela 4). Observa-se que aproximadamente 55% do C da aveia havia sido perdido nesse período no solo sob PC (Figura 5a), incluindo os compostos facilmente decomponíveis (Christensen, 1985; Trinsoutrot et al., 2000), de modo que a decomposição do período posterior foi bem menor e não demonstrou diferenças devido ao tratamento de irrigação.

Observando as cinéticas de decomposição dos resíduos de aveia+ervilhaca e ervilhaca, representadas nas figuras 5b e 5c, respectivamente, pode-se afirmar que as diferenças entre sistemas de preparo se mantiveram similares àquelas apresentadas para o resíduo de aveia (Figura 5a), onde também foi verificada uma maior decomposição no PC em relação ao PD (Tabela 4). Pode-se visualizar também que dentro do sistema PC as decomposições dos três diferentes materiais vegetais utilizados não foram expressivamente afetadas pela irrigação (Figura 5), havendo uma ressalva com relação ao resíduo de ervilhaca. As estimativas da Tabela 4 indicam um k

maior para o PC não irrigado ($0,0327 \text{ \% dia}^{-1}$) comparado ao PC irrigado ($0,0292 \text{ \% dia}^{-1}$), porém pode-se verificar que o coeficiente de determinação daquele é baixo ($R^2 = 0,64$), o que torna o dado não conclusivo.

Embora as diferenças entre as curvas de decomposição sejam menos expressivas para o resíduo de aveia+ervilhaca (Figura 5b) em relação às encontradas para o resíduo de aveia (Figura 5a), elas ainda são consideráveis e confirmam a tendência de uma maior decomposição no PD irrigado ($k = 0,0130 \text{ \% dia}^{-1}$) comparado ao PD não irrigado ($k = 0,0107 \text{ \% dia}^{-1}$) (Tabela 4) (Andrén et al., 1992). Este padrão não foi observado para o resíduo de ervilhaca, onde as curvas de decomposição para o PD irrigado e não irrigado são praticamente idênticas (Figura 5b, Tabela 4). Esse fato pode ser atribuído à quantidade elevada de matéria seca solúvel em água (Aita & Giacomini, 2003) e baixa relação C/N desse resíduo vegetal, associado à disponibilidade hídrica satisfatória na fase inicial, sem a necessidade de suplementação hídrica até os 41 dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo (Figura 6).

A magnitude dos efeitos dos tratamentos de irrigação no solo em PD sobre a dinâmica da decomposição dos resíduos vegetais aparenta estar correlacionada com a constituição bioquímica intrínseca do material (Janssen, 1996; Trinsoutrot et al., 2000; Aita & Giacomini, 2003). Nota-se pelas curvas e taxas de decomposição (Figura 5, Tabela 4) que as diferenças entre PD irrigado e PD não irrigado decresceram na seguinte ordem: aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca, cujas relações C/N são 33, 19 e 13, respectivamente. É sabido que resíduos com relação C/N mais alta possuem uma decomposição mais lenta (Janssen, 1996; Amado et al., 2000; Acosta et al., 2001; Aita & Giacomini, 2003; Amado et al., 2003), permanecendo por um período maior sobre o solo, o que permite que os efeitos da quantidade de água disponível no solo sobre a atividade microbiana e decomposição se expressem melhor. Isso se torna mais relevante neste estudo quando é levado em conta que no espaço de tempo de 140 dias entre colocação e retirada dos sacos de decomposição no campo, a irrigação foi utilizada somente após o 41º dia (Figura 6).

Entre os aspectos gerais da dinâmica da decomposição dos resíduos vegetais a campo, cabe destacar que, no período inicial (primeiro

terço), foi verificada a maior perda de C, principalmente no PC (Figura 5). Diversos autores também observaram diminuição mais acentuada do C original dos resíduos nas primeiras semanas após a colocação dos resíduos no campo (Christensen, 1985; Trinsoutrot et al., 2000; Amado et al., 2000; Aita e Giacomini, 2003; Amado et al., 2003). Alguns autores, inclusive, optaram por avaliar a cinética de decomposição dos resíduos vegetais no tempo através do ajuste de modelos de exponencial dupla e/ou assintótico (Wieder e Lang, 1982), os quais consideram duas diferentes taxas de decomposição de acordo com a recalcitrância das frações que compõe o tecido vegetal. Christensen (1985) e Trinsoutrot et al. (2000) relacionaram as maiores decomposições iniciais à presença de compostos solúveis (carboidratos, açúcares e aminoácidos) na palha, sendo facilmente perdidos por lixiviação e oxidação microbiana. Segundo Trinsoutrot et al. (2000), as taxas do período inicial de decomposição dos resíduos vegetais (7 dias) são altamente correlacionadas com os componentes solúveis de C dos resíduos. Sendo que após 28 dias de incubação, os resultados de decomposição dos resíduos foram atribuídos aos efeitos dos demais constituintes das plantas (lignina, celulose e hemicelulose).

Em geral, os resultados das taxas de decomposição diária dos três resíduos estudados apontam valores médios para o solo em PC ($0,0248 \text{ \% dia}^{-1}$) que correspondem, aproximadamente, ao dobro dos valores médios encontrados no sistema PD ($0,0123 \text{ \% dia}^{-1}$) (Figura 5, Tabela 4). Considerando o efeito da irrigação dentro dos sistemas de preparo sobre as taxas de decomposição diária dos resíduos, verifica-se no solo em sistema PD irrigado taxas aproximadamente 40 e 20% superiores ao PD não irrigado para os resíduos de aveia e aveia+ervilhaca, respectivamente. Trabalhando com resíduos de cevada e considerando somente os efeitos da irrigação, Andrén et al. (1992) verificaram que as taxas de decomposição do tratamento irrigado (precipitação + irrigação) aumentaram 30 e 57% em relação ao tratamento controle (precipitação) e seco (sem nenhuma suplementação hídrica), respectivamente.

5.3. Teores e estoques de C orgânico no solo

5.3.1. Distribuição do C orgânico no perfil do solo

A distribuição da concentração de C orgânico no perfil do solo cultivado sob PC e PD no sistema não irrigado e irrigado é apresentada nas Figuras 7a e 7b, respectivamente (Apêndice 23). As representações gráficas das duas figuras demonstram comportamentos similares quanto à distribuição do C em profundidade nos sistemas PC e PD, principalmente no que se refere às diferenças entre os sistemas de preparo dentro dos tratamentos de irrigação. No geral, verifica-se uma maior concentração de C orgânico nas camadas superficiais 0-0,025 e 0,025-0,050 m no solo cultivado sob sistema PD em relação ao solo submetido ao sistema PC (Muzilli, 1983; Reicosky et al., 1995; Bayer & Mielniczuk, 1997; Burle et al., 1997; Bayer et al., 2000a). Já na camada 0,10-0,20 m é observado um teor de C orgânico maior no solo sob PC comparado ao solo manejado em sistema PD.

As maiores concentrações de C orgânico nas camadas superficiais do solo em PD ocorrem devido à manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, e pela ausência do uso de práticas que promovem o revolvimento do solo e a incorporação da palhada (Reicosky et al., 1995; Bayer & Mielniczuk, 1997; Bayer et al., 2000a). Este revolvimento anual do solo é responsável pela maior concentração de C orgânico observado na camada 0,10-0,20 m no solo em PC, onde a inversão das camadas do solo pela aração é acompanhada pela incorporação dos restos vegetais dispostos sobre a superfície do solo.

A importância do teor de C orgânico da camada superficial (0-0,05 m) reside no fato que a maior parte do sistema radicular das plantas cultivadas está localizada nessa porção do solo, principalmente no sistema PD (Merten & Mielniczuk, 1991). Além disso, Reicosky et al. (1995) salientam que o alto teor de C orgânico nas camadas superficiais promove a melhoria de algumas propriedades do solo, tais como: aumento das taxas de infiltração de água, diminuição da erosão e aumento na eficiência do uso da água da precipitação (ou irrigação). A dinâmica e ciclagem de nutrientes atreladas ao ciclo do C são aceleradas nessa camada de solo que melhor contempla as interações entre solo-planta-atmosfera.

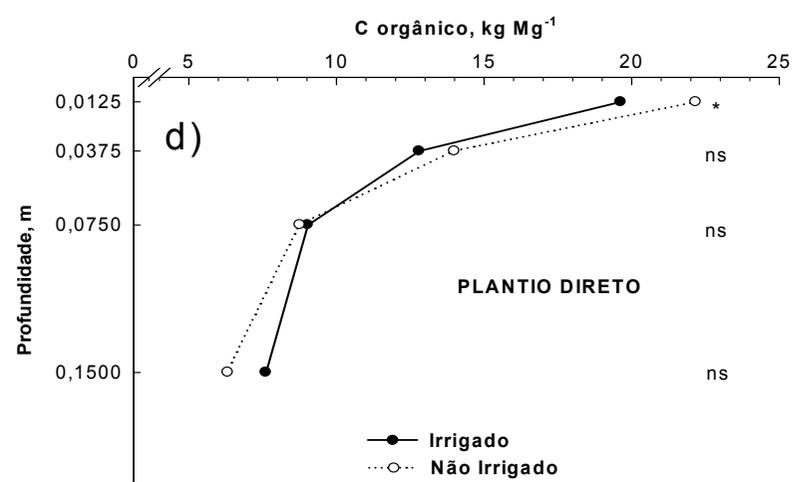
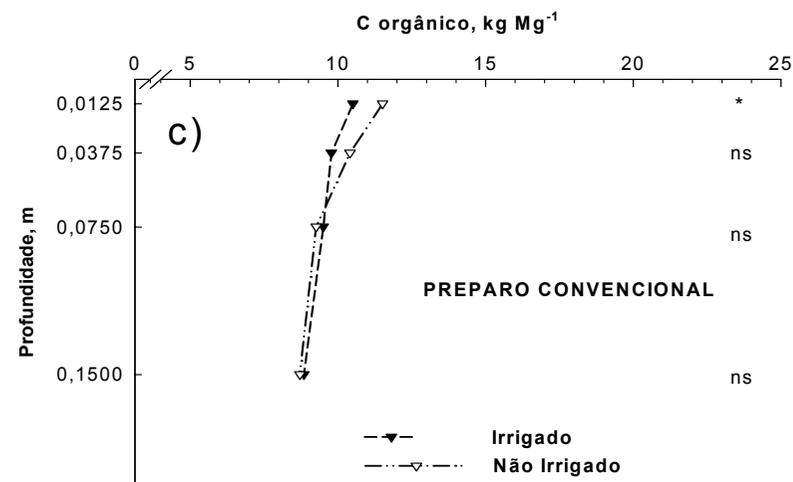
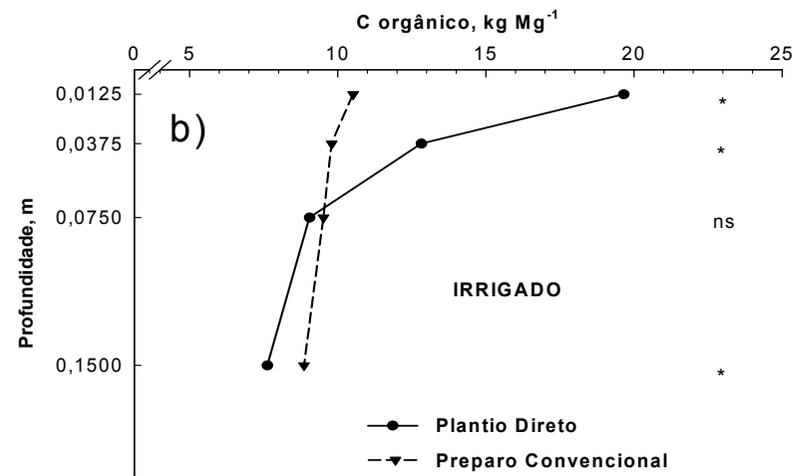
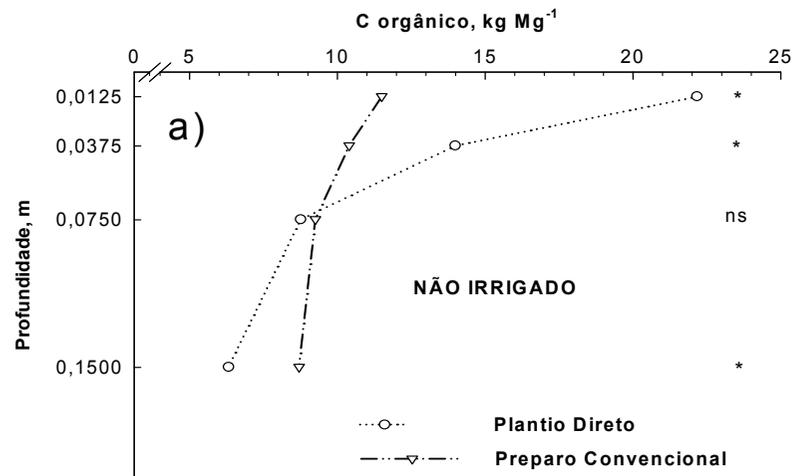


FIGURA 7. Distribuição dos teores de C orgânico no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Nas Figuras 7c e 7d pode-se observar as diferenças na distribuição do C orgânico no perfil do solo influenciado pelo uso da irrigação por aspersão nos sistemas PC e PD, respectivamente (Apêndice 23). Os resultados indicam que as diferenças foram significativas somente na camada 0-0,025 m tanto no PD como no PC, onde o tratamento não irrigado apresentou um teor de C orgânico maior do que o irrigado, apesar do maior aporte de resíduos vegetais neste sistema (Tabela 3). Esse fato é atribuído a um provável aumento nas taxas de decomposição da MOS, como consequência de um aumento da atividade microbiana, em resposta a uma maior quantidade de água disponível no solo irrigado em relação ao não irrigado.

Aparentemente, as reduções nas concentrações de C orgânico do solo na camada 0-0,025 m, devido ao uso da irrigação, com tendências ainda perceptíveis na camada subsequente (0,025-0,050 m) (Figuras 7c e 7d), espelham de certa forma a dinâmica da decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo em PD (Figura 4), conforme visto anteriormente. Esta hipótese é perfeitamente aceitável ao se considerar a similaridade dos ambientes quanto à localização, umidade e aeração.

5.3.2. Estoques de C orgânico no solo

5.3.2.1. Método de cálculo: camada equivalente de solo x massa equivalente de solo

A Tabela 5 apresenta os estoques de C orgânico no solo calculados pelos métodos da camada equivalente de solo e massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995) nos sistemas PD e PC, com e sem irrigação (Apêndices 24 e 25). Para metodologia da massa equivalente de solo, utilizou-se o solo sob campo nativo como referência (3330 Mg de solo ha⁻¹). Todas as correções e ajustes na espessura das camadas foram realizados com base na massa de solo das camadas individualizadas do solo sob campo nativo.

Comparativamente ao campo nativo, o solo cultivado sob os sistemas PD e PC apresentou maiores densidades nas camadas superficiais (0-0,025 e 0,025-0,050 m) e menores nas subsuperficiais (0,050-0,10 e 0,10-0,20 m). No que se refere à variação na densidade do solo devido aos sistemas de preparo, verificam-se maiores densidades nas camadas superficiais do solo sob PC em relação ao solo em PD. No entanto, essa situação se inverteu nas

Tabela 5. Estoques de C orgânico do solo calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo nos sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig.) por aspersão, e no solo sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

	Camada equivalente de solo				Massa equivalente de solo		
	Camada (m)	M. Solo ¹ (Mg ha ⁻¹)	C org. ²		Camada (m)	M. Solo ¹ (Mg ha ⁻¹)	C org. ² (Mg ha ⁻¹)
			(kg Mg ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)			
PC	0-0,025	435	11,5	5,0	0-0,021	368	4,2 a B
N-Irrig.	0,025-0,050	435	10,4	4,5	0,021-0,042	368	3,8 a B
	0,050-0,10	802	9,3	7,4	0,042-0,095	846	7,9 a A
	0,10-0,20	1581	8,7	13,8	0,095-0,206	1748	15,2 a A
	0-0,20			30,7	0-0,206		31,1 a A
PC	0-0,025	435	10,5	4,6	0-0,021	368	3,9 a B
Irrig.	0,025-0,050	435	9,8	4,3	0,021-0,042	368	3,6 a A
	0,050-0,10	802	9,5	7,6	0,042-0,095	846	8,0 a A
	0,10-0,20	1581	8,9	14,0	0,095-0,206	1748	15,5 a A
	0-0,20			30,5	0-0,206		31,0 a A
PD	0-0,025	407	22,2	9,0	0-0,023	368	8,2 a A
N-Irrig.	0,025-0,050	407	14,0	5,7	0,023-0,045	368	5,2 a A
	0,050-0,10	806	8,8	7,1	0,045-0,098	846	7,4 a B
	0,10-0,20	1652	6,3	10,4	0,098-0,204	1748	11,0 a B
	0-0,20			32,2	0-0,204		31,8 a A
PD	0-0,025	407	19,6	8,0	0-0,023	368	7,2 a A
Irrig.	0,025-0,050	407	12,8	5,2	0,023-0,045	368	4,7 a A
	0,050-0,10	806	9,0	7,3	0,045-0,098	846	7,6 a A
	0,10-0,20	1652	7,6	12,6	0,098-0,204	1748	13,3 a B
	0-0,20			33,1	0-0,204		32,8 a A
CN	0-0,025	368	19,3	7,1	0-0,025	368	7,1
	0,025-0,050	368	12,0	4,4	0,025-0,050	368	4,4
	0,050-0,10	846	9,2	7,8	0,050-0,10	846	7,8
	0,10-0,20	1748	7,4	12,9	0,10-0,20	1748	12,9
	0-0,20			32,2	0-0,20		32,2
Δ₀₋₂₀ Irrigação PD³				-0,9			-1,0
Δ₀₋₂₀ Irrigação PC⁴				0,2			0,1
Δ₀₋₂₀ Preparos s/Irrigação⁵				1,5			0,7
Δ₀₋₂₀ Preparos c/Irrigação⁶				2,6			1,8

¹ Massa de solo por hectare - ² Carbono orgânico do solo

³ Δ₀₋₂₀ Irrigação PD = PD s/irrigação – PD c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m nas estimativas obtidas através da camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁴ Δ₀₋₂₀ Irrigação PC = PC s/irrigação – PC c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,206 m nas estimativas obtidas através da camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁵ Δ₀₋₂₀ Preparos s/Irrigação = PD s/irrigação – PC s/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m no PD, e 0-20 e 0-0,206 m no PC calculados considerando a camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁶ Δ₀₋₂₀ Preparos c/Irrigação = PD c/irrigação – PC c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m no PD, e 0-0,20 e 0-0,206 cm no PC calculados considerando a camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

* Letras minúsculas comparam tratamentos de irrigação dentro do mesmo sistema de preparo. Letras maiúsculas comparam sistemas de preparo dentro do mesmo tratamento de irrigação. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

camadas subsuperficiais, onde o solo sob PD apresentou densidades maiores do que o solo cultivado no sistema PC (Tabelas 2 e 5). As densidades determinaram os ajustes nas espessuras das camadas a fim de se obter as respectivas massas equivalentes (Ellert & Bettany, 1995).

Observa-se que os estoques de C orgânico praticamente não foram afetados pelo método de cálculo adotado, sendo que as diferenças nos resultados foram pouco expressivas devido à pequena variação da densidade do solo entre sistemas de preparo (Tabela 5) (Angers et al., 1993; Angers et al., 1997). No solo em PC a estimativa dos estoques pelo método da massa equivalente de solo apontou um aumento nos estoques totais em comparação ao método da camada equivalente, o que se deve ao aumento da espessura a ser considerada na camada 0,10-0,20 m. Em contrapartida, no solo sob sistema PD houve uma redução dos estoques totais de C orgânico quando calculado pela metodologia da massa equivalente de solo, o que é atribuído à diminuição da espessura considerada nas camadas superficiais, justamente as que apresentaram os maiores teores de C orgânico (Tabela 5).

As diferenças entre os estoques totais de C orgânico do solo nos sistemas de manejo PC e PD diminuíram de 2,6 e 1,5 Mg ha⁻¹ para 1,8 e 0,7 Mg ha⁻¹ no tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente, quando a estimativa dos estoques foi realizada pelo método da massa equivalente de solo em substituição ao da camada equivalente de solo (Tabela 5).

Os resultados obtidos no presente estudo permitem inferir que, pela metodologia da camada equivalente de solo, ocorreu uma superestimativa do C orgânico nas camadas superficiais devido à compactação do solo. Por outro lado, nas camadas subsuperficiais menos adensadas esse método de cálculo ocasionou uma subestimação dos estoques de C orgânico. Isso nos permite concluir que, muitas vezes, estimativas de diferenças nos estoques de C orgânico do solo entre sistemas de manejo são exclusivamente decorrentes do método de cálculo empregado (Ellert & Bettany, 1995).

Neste estudo a discussão dos efeitos dos sistemas de manejo nos estoques de C orgânico será realizada com base nos resultados obtidos pela metodologia da massa equivalente de solo. Acredita-se que esse método distingue as diferenças nos estoques de C orgânico ou N total (item 5.4.) que

realmente são devidas aos efeitos do sistema de manejo, daquelas oriundas das alterações físicas do solo provocadas pelas práticas de preparo.

5.3.2.2. Efeitos dos sistemas de preparo e da irrigação

Em geral, o solo sob PD apresentou maiores estoques de C orgânico nas camadas superficiais comparativamente ao solo cultivado em PC. Por outro lado, nas camadas subsuperficiais o solo cultivado em PC expressou os maiores valores de C orgânico acumulado (Tabela 5). Observa-se que dentro do tratamento irrigado as diferenças entre PC e PD foram estatisticamente significativas somente nas camadas 0-0,025 e 0,10-0,20 m.

Conforme enfatizado anteriormente, a disposição dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo é responsável pelo acúmulo de C orgânico nas camadas superficiais do sistema PD, enquanto que o revolvimento do solo sob PC incrementa os estoques de C orgânico das camadas subsuperficiais (Reicosky et al., 1995; Bayer & Mielniczuk, 1997; Bayer et al., 2000a). É interessante reparar que o uso da irrigação diminuiu as diferenças entre os estoques de C orgânico das camadas do solo submetido aos dois métodos de manejo, sendo significativas somente nas duas camadas extremas (Tabela 5).

Na Figura 8 pode-se observar que o maior estoque de C orgânico na camada 0-0,050 m do solo sob PD foi compensado pelo maior estoque na camada 0,10-0,20 m do solo submetido ao PC, de modo que na camada total de solo (0-0,20 m) não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos.

Avaliando os efeitos do uso da irrigação sobre os estoques de C orgânico do solo, nota-se que não foram identificadas diferenças significativas em nenhuma camada do solo nos dois sistemas de manejo (Tabela 5). Conseqüentemente, a camada total (0-0,20 m) também não apresentou diferenças relacionadas à irrigação dentro dos sistemas de preparos (Figura 8).

Estudando solos irrigados por sistema pivô central e manejados em preparo reduzido de Nebraska (região central dos Estados Unidos), Lueking e Schepers (1985) observaram um aumento de $1,66 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($0,110 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos estoques de C orgânico na camada 0-0,30 m dos solos, após 15 anos submetidos a esse sistema de manejo. Segundo Lal et al. (1999), fatores ligados a clima, tipo de solo, sistema de culturas, e práticas de manejo e

fertilidade do solo interagem com os efeitos da irrigação e determinam o padrão de variação dos estoques de C orgânico do solo.

Na literatura são citadas taxas médias de incremento nos estoques de C orgânico do solo devido à irrigação de $0,100 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Lal et al., 1999), sendo que esses valores são estimativas globais, que abrangem os mais variados tipos de solo e clima, sob diferentes condições de manejo. Salienta-se que solos de regiões temperadas e frias e/ou com maiores teores de argila estão mais aptos a acumular C orgânico, devido as menores taxas de decomposição da MOS (Balesdent et al., 1987; Bayer, 1996). Nesse contexto, acredita-se que as temperaturas elevadas no período de verão e o baixo teor de argila do solo, tenham contribuído para que não fossem verificadas diferenças nos estoques de C orgânico do solo devido à irrigação neste estudo, principalmente no sistema PC.

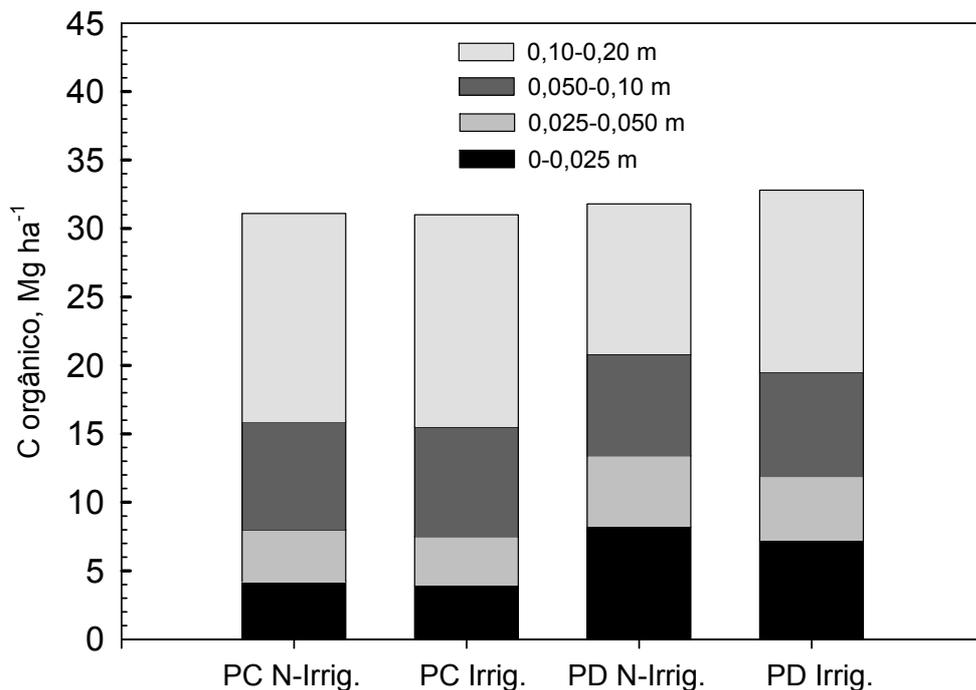


FIGURA 8. Estoques de C orgânico na camada 0-0,20 m do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Dentro do sistema PD, embora não havendo diferenças significativas nos estoques de C orgânico entre os tratamentos de irrigação, observou-se uma taxa de acúmulo de C orgânico nos estoques do solo em função do uso da irrigação de $0,125 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na camada 0-0,20 m, concordando com as estimativas obtidas por Lueking & Schepers (1985) e Lal et al. (1999). Entretanto, deve-se ressaltar que esse dado isolado não é relevante, sendo mais importante a análise conjunta de todas as variáveis envolvidas na dinâmica da MOS para a obtenção de resultados realmente conclusivos.

Portanto, o fato dos estoques de C orgânico do solo não diferirem estatisticamente devido ao uso da irrigação, tanto no sistema PC como PD, se sobressai quando são consideradas as diferenças observadas nas adições anuais de C pelas culturas (Tabela 3), conforme visto anteriormente. A área irrigada recebeu anualmente $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C a mais que a área não irrigada, o que ao final de oito anos, ocasião da coleta do solo, contabilizou um aporte total de C orgânico aproximadamente $12,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ superior. De acordo com os estoques de C orgânico do solo, esse aumento na adição não se refletiu no seu acúmulo no solo da área irrigada, havendo inclusive uma diminuição do teor de C orgânico na camada 0-0,025 m do tratamento irrigado sob PC e PD (Figura 7c e 7d). Trata-se de indícios que o aumento da água disponível pela suplementação hídrica pode estar atuando no sentido de aumentar também as taxas de decomposição da MOS.

5.3.3. Estimativas das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo

Para estimar as taxas de decomposição da MOS (k_2) partiu-se do pressuposto básico que o estoque de C orgânico do solo encontrava-se estável, ou seja, o saldo do balanço entre entradas e saídas de C do sistema é nulo (Eq. 2.2.) (Dalal & Mayer, 1986; Bayer, 1996; Bayer et al., 2000b; Lovato, 2001).

As taxas de decomposição da MOS para os sistemas PC e PD, com e sem irrigação, foram estimadas pela equação 2.3. ($k_2 = k_1 \cdot A/C_e$), para o que se utilizaram coeficientes de humificação (k_1) de 0,148 e 0,146 referentes ao solo sob PC e PD, respectivamente, obtidos por Lovato et al. (2005 - submetido) em um Argissolo Vermelho próximo à área experimental. Os

valores referentes à adição de C (A) corresponderam aos valores médios anuais de adição de C pelas culturas (Tabela 3), e o C_e correspondeu aos estoques de C orgânico da camada 0-0,20 m do solo (Tabela 5).

Na Figura 9 estão representadas as taxas de decomposição da MOS estimadas para o solo cultivado em PC e PD sob condições irrigadas e não irrigadas por aspersão. Os valores médios de k_2 encontrados para o solo em sistema PC e PD foram: 0,04385 e 0,04155 ano⁻¹, respectivamente. Evidencia-se uma diferença desprezível entre as taxas de decomposição da MOS dos sistemas de preparo PC e PD, o que não correspondeu ao esperado. Verifica-se que o k_2 estimado para o sistema PD é elevado em relação ao observado por outros autores (Bayer, 1996; Lovato, 2001). Bayer (1996) estimou uma taxa de perda anual de matéria orgânica (k_2) no sistema PD de 0,029 ano⁻¹, cujo valor, comparativamente ao verificado neste estudo, é aproximadamente 30% menor. Uma das explicações para a possível superestimação do k_2 no solo em PD é dada pela hipótese de que o estoque de C orgânico neste sistema de manejo esteja aumentando e não tenha atingido a estabilidade. Mann (1986) constatou que as maiores alterações nos estoques de C orgânico dos solos ocorrem nos primeiros 20 anos após o início do cultivo, análogo à mudança de sistema de manejo, sendo que as variações mais expressivas acontecem nos 10 anos iniciais.

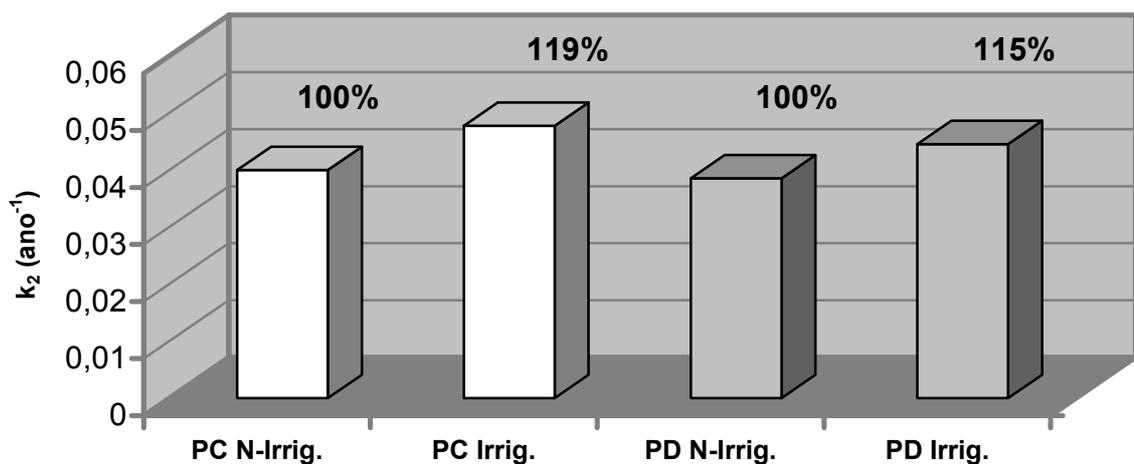


FIGURA 9. Taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (k_2) estimadas para o solo submetido aos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, onde os percentuais representam as diferenças nos k_2 entre tratamentos de irrigação dentro dos sistemas de preparo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Embora a diferença não tenha sido significativa nesse estudo, vale salientar que a maior decomposição da MOS em áreas manejadas sob PC, comparativamente as cultivadas em PD, é atribuída a uma série de razões, tais como: maior contato entre solo-microrganismo-matéria orgânica, maior aeração do solo, destruição dos agregados, exposição ao ataque microbiano da matéria orgânica protegida fisicamente intra-agregados, e alterações nos fluxos de calor do solo (Dalmago et al., 2004).

No solo em PC o uso da irrigação promoveu um aumento de 19% na taxa de decomposição da MOS, sendo que os valores absolutos aumentaram de $0,0400 \text{ ano}^{-1}$ no PC não irrigado para $0,0477 \text{ ano}^{-1}$ no PC irrigado. Considerando o sistema PD, observou-se um incremento de 15% no k_2 estimado para o tratamento irrigado em relação ao não irrigado, cujos valores absolutos correspondem a $0,0445$ e $0,0386 \text{ ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 9).

Estudando o efeito da umidade do solo sobre o número de microrganismos e na atividade microbiana, Bloem et al. (1992) observaram que relativamente pequenas variações no potencial de água não modificaram a quantidade de microrganismos, mas afetaram significativamente a atividade microbiana. A redução no potencial da água de $-0,03$ para $-0,12 \text{ MPa}$ com o secamento do solo, diminuiu o consumo de O_2 e a taxa de mineralização de N em aproximadamente 20-30 e 60-70%, respectivamente. Quando o solo foi umedecido novamente ($-0,01 \text{ MPa}$), tanto o consumo de O_2 como a taxa de mineralização de N aumentaram. Orchard & Cook (1983) constataram que a diminuição do potencial da água de $-0,01$ para $-0,02 \text{ MPa}$ provocou a diminuição de 10% na atividade microbiana, medida através de respiração (emissão CO_2). Em seu estudo, esses autores encontraram uma correlação linear positiva entre potencial de água na faixa de $-0,01$ e $-0,10 \text{ MPa}$ e a atividade microbiana, considerando o fator substrato disponível não limitante.

Como as condições normais de decomposição da MOS pelos microrganismos do solo são mais favoráveis no sistema PC, esperava-se que o efeito da maior disponibilidade de água fosse mais expressivo entre os tratamentos de irrigação do PC comparado aos do PD. No entanto, os resultados apresentados na Figura 9 não confirmaram essa suposição, sendo que o efeito da irrigação na taxa de decomposição da MOS foi similar em PC e PD.

Relacionando-se os efeitos do uso da irrigação sobre a adição de C pelas plantas (Tabela 3) e sobre as taxas de decomposição da MOS pelos microrganismos do solo (Figura 9), observa-se que ambas foram afetadas em magnitudes similares. A irrigação aumentou em aproximadamente 19% a adição anual média de C ($1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 3). Do mesmo modo, as taxas de decomposição da MOS aumentaram cerca de 17% com o uso da irrigação, sendo esse resultado o valor médio dos sistemas PC e PD (Figura 9). Isso determinou um saldo entre ganhos e perdas de C devido à irrigação aproximadamente nulo, o que explica a ausência de diferenças significativas entre os estoques de C orgânico da camada 0-0,20 m do solo irrigado e não irrigado, tanto em PC como PD (Figura 8).

5.4. Teores e estoques de N total no solo

5.4.1. Distribuição no perfil do solo

A distribuição dos teores de N total no perfil do solo cultivado sob PC e PD, em condições não irrigadas e irrigadas por aspersão, está representada nas Figuras 10a e 10b, respectivamente (Apêndice 26). Observa-se, inicialmente, que os teores de N total do solo no sistema PD decresceram com o aumento da profundidade, enquanto no sistema PC eles mantêm certa uniformidade em todo o perfil do solo (Bayer, 1992; Bayer et al., 2000a; Amado et al., 2000). Esses resultados são similares aos verificados na distribuição em profundidade da concentração de C orgânico (Figura 7), o que demonstra a estreita relação entre C e N na MOS (Bayer, 1992).

Independente do uso ou não da irrigação, o solo sob PD apresentou maiores concentrações de N total na camada 0-0,050 m comparativamente ao solo submetido ao PC (Bayer, 1992; Bayer et al., 2000a; Amado et al., 2000). Nas camadas subseqüentes, 0,050-0,10 e 0,10-0,20 m, não foram observadas diferenças significativas entre os teores de N total do solo nos tratamentos de sistemas de preparo dentro dos tratamentos de irrigação (Figuras 10a e 10b). Embora não tenha sido verificada significância estatística, a camada 0,10-0,20 m do solo em PC tendeu a apresentar um maior teor de N total em relação ao PD, tanto na área irrigada como na não irrigada. Generalizando para os dois tratamentos de irrigação, pode-se dizer que as causas das diferenças no teor de N total entre as camadas do solo sob PC e PD são basicamente as mesmas

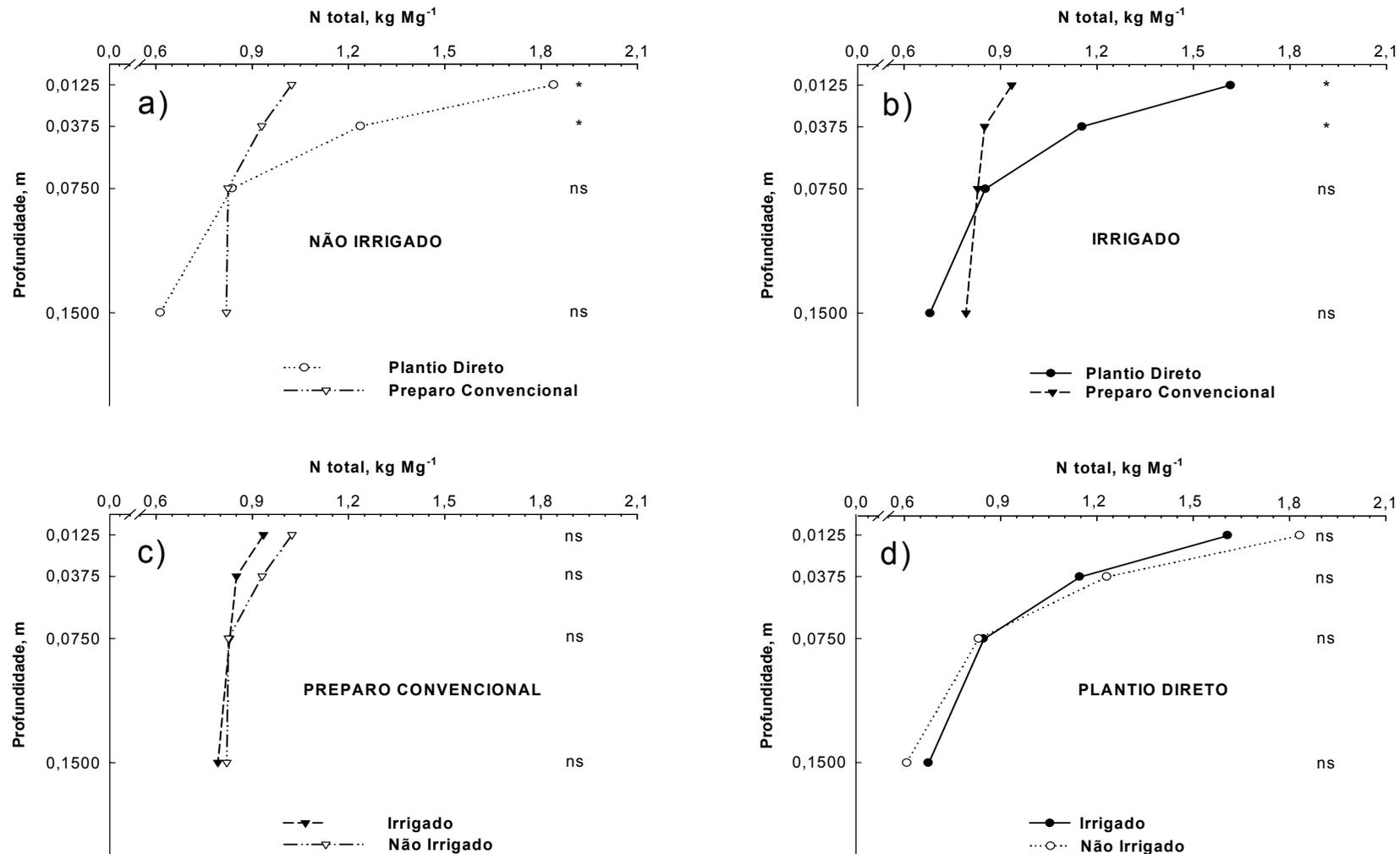


Figura 10. Distribuição dos teores de N total no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

que determinam a distribuição da concentração do C orgânico (Figuras 7a e 7b), conforme visto anteriormente.

As Figuras 10c e 10d apresentam as concentrações de N total nas camadas do solo em função do uso ou não da irrigação por aspersão em PC e PD, respectivamente (Apêndice 26). Avaliando as diferenças entre os teores de N total da área irrigada e não irrigada, verifica-se que as mesmas não são significativas em nenhuma camada em ambos os sistemas de preparo. Cabe ressaltar que, mesmo não havendo significância estatística, os gráficos demonstram claramente que a concentração de N total tende a ser superior na camada 0-0,025 m do solo não irrigado em relação ao irrigado. De acordo com o que foi observado nos resultados da concentração de C orgânico no perfil do solo (Figuras 7c e 7d), essa camada é a mais influenciada pelo efeito do aumento na disponibilidade de água do solo.

5.4.2. Estoques de N total no solo

A Tabela 6 apresenta os resultados referentes aos estoques de N total do solo nos sistemas de manejo PC e PD, com e sem irrigação, expressos em camadas equivalentes de solo e massas equivalentes de solo (Ellert & Bettany, 1995) (Apêndices 27 e 28). As estimativas dos estoques de N total em ambas as metodologias foram efetuadas de forma análoga ao descrito para os estoques de C orgânico. Observa-se, portanto, que as variações nos estoques de N total devido aos métodos de cálculo são proporcionalmente similares às verificadas nos estoques de C orgânico, tanto nas camadas como nas diferenças entre tratamentos.

Avaliando o efeito dos sistemas de manejo sobre os estoques de N total nas camadas do solo na área irrigada e não irrigada (Tabela 6), nota-se que o PD apresentou, comparativamente ao PC, maiores estoques de N total nas camadas superficiais (0-0,025 e 0,025-0,050 m) e menores na camada subsuperficial (0,10-0,20 m), independente do uso ou não da irrigação. Conforme discutido anteriormente, esses resultados são atribuídos ao acúmulo e manutenção do material vegetal na superfície do solo no sistema PD, o que gera um gradiente decrescente de distribuição em profundidade do N total no solo. A incorporação dos resíduos vegetais pelo revolvimento do solo no PC,

Tabela 6. Estoques de N total do solo calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo nos sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem irrigação (N-Irrig.) por aspersão, e no solo sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

	Camada equivalente de solo				Massa equivalente de solo		
	Camada (m)	M. Solo ¹ (Mg ha ⁻¹)	N Total ²		Camada (m)	M. Solo ¹ (Mg ha ⁻¹)	N Total ¹ (Mg ha ⁻¹)
			(kg Mg ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)			
PC	0-0,025	435	1,02	0,444	0-0,021	368	0,375 a B
N-Irrig.	0,025-0,050	435	0,93	0,405	0,021-0,042	368	0,342 a B
	0,050-0,10	802	0,83	0,666	0,042-0,095	846	0,702 a A
	0,10-0,20	1581	0,82	1,296	0,095-0,206	1748	1,433 a A
	0-0,20			2,811	0-0,206		2,852 a A
PC	0-0,025	435	0,93	0,405	0-0,021	368	0,342 b B
Irrig.	0,025-0,050	435	0,85	0,370	0,021-0,042	368	0,313 a B
	0,050-0,10	802	0,83	0,666	0,042-0,095	846	0,702 a A
	0,10-0,20	1581	0,79	1,249	0,095-0,206	1748	1,381 a A
	0-0,20			2,690	0-0,206		2,738 a A
PD	0-0,025	407	1,84	0,749	0-0,023	368	0,677 a A
N-Irrig.	0,025-0,050	407	1,24	0,505	0,023-0,045	368	0,456 a A
	0,050-0,10	806	0,84	0,677	0,045-0,098	846	0,711 a A
	0,10-0,20	1652	0,61	1,008	0,098-0,204	1748	1,066 a B
	0-0,20			2,939	0-0,204		2,910 a A
PD	0-0,025	407	1,61	0,655	0-0,023	368	0,592 b A
Irrig.	0,025-0,050	407	1,15	0,468	0,023-0,045	368	0,423 a A
	0,050-0,10	806	0,85	0,685	0,045-0,098	846	0,719 a A
	0,10-0,20	1652	0,68	1,123	0,098-0,204	1748	1,189 a B
	0-0,20			2,931	0-0,204		2,923 a A
CN	0-0,025	368	1,40	0,515	0-0,025	368	0,515
	0,025-0,050	368	1,00	0,368	0,025-0,050	368	0,368
	0,050-0,10	846	0,77	0,651	0,050-0,10	846	0,651
	0,10-0,20	1748	0,61	1,066	0,10-0,20	1748	1,066
	0-0,20			2,600	0-0,20		2,600
Δ₀₋₂₀ Irrigação PD³				0,008			-0,013
Δ₀₋₂₀ Irrigação PC⁴				0,121			0,114
Δ₀₋₂₀ Preparos s/Irrigação⁵				0,128			0,058
Δ₀₋₂₀ Preparos c/Irrigação⁶				0,241			0,185

¹ Massa de solo por hectare - ² Nitrogênio total do solo

³ Δ₀₋₂₀ Irrigação PD = PD s/irrigação – PD c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m nas estimativas obtidas através da camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁴ Δ₀₋₂₀ Irrigação PC = PC s/irrigação – PC c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,206 m nas estimativas obtidas através da camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁵ Δ₀₋₂₀ Preparos s/Irrigação = PD s/irrigação – PC s/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m no PD, e 0-20 e 0-0,206 m no PC calculados considerando a camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

⁶ Δ₀₋₂₀ Preparos c/Irrigação = PD c/irrigação – PC c/irrigação (estoques correspondentes às camadas de 0-0,20 e 0-0,204 m no PD, e 0-0,20 e 0-0,206 cm no PC calculados considerando a camada equivalente de solo e massa equivalente de solo, respectivamente).

* Letras minúsculas comparam tratamentos de irrigação dentro do mesmo sistema de preparo. Letras maiúsculas comparam sistemas de preparo dentro do mesmo tratamento de irrigação. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

por sua vez, promove o enriquecimento dos estoques de N total das camadas inferiores do solo (Bayer, 1992; Bayer et al., 2000a; Amado et al., 2000).

Pode-se observar que, similar ao C orgânico, os maiores estoques de N total das camadas superficiais do solo sob PD foram compensados pelo aumento dos estoques de N total da camada subsuperficial do solo em PC, de modo que a variável estoque de N total da camada 0-0,20 m não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos de preparo em condições irrigadas e não irrigadas (Figura 11).

Estudando a influência do uso da irrigação sobre os estoques de N total do solo dentro dos tratamentos de preparo, verificaram-se diferenças significativas somente na camada superficial 0-0,025 m, sendo que a área não irrigada apresentou maiores estoques de N total em relação à área irrigada, tanto em PC como PD (Tabela 6). Esse resultado é condizente ao encontrado para a variável concentração de C orgânico do solo nos tratamentos de irrigação (Figuras 7c e 7d), sendo explicado pelo aumento das taxas de decomposição da MOS em condições irrigadas (Figura 9).

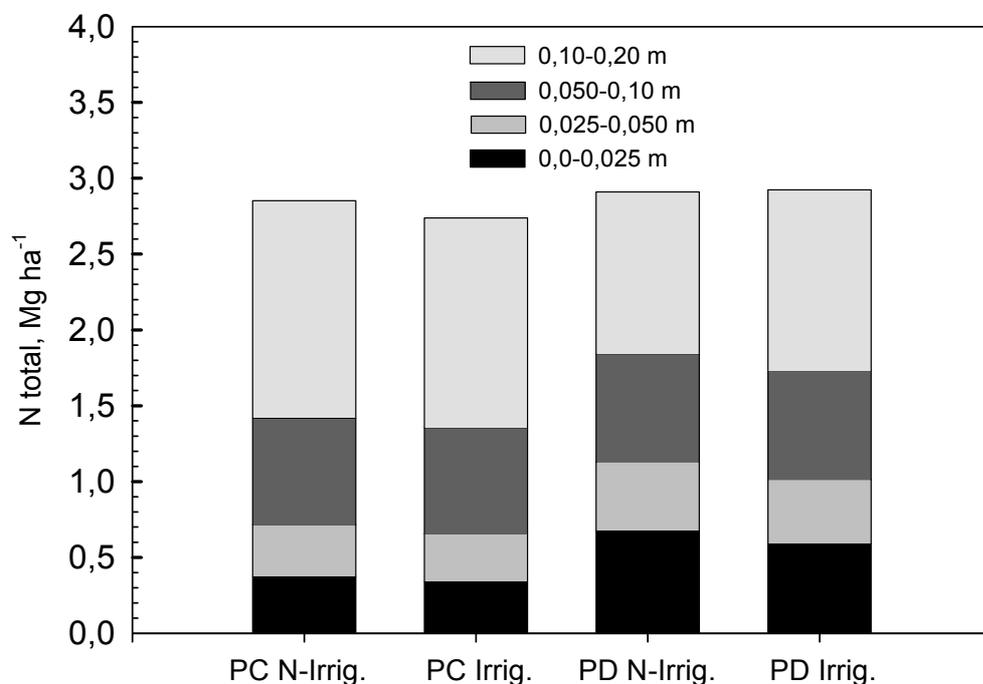


Figura 11. Estoques de N total na camada 0-0,20 m do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Além do incremento de água ser maior na camada 0-0,025 m em relação às camadas subseqüentes, acredita-se que possíveis menores taxas de oxigenação do solo em profundidade tenham atuado no sentido de limitar a atividade microbiana e, conseqüentemente, mascarar os efeitos da irrigação sobre os estoques de N total.

A representação gráfica da Figura 11 demonstra que, dentro dos sistemas de manejo PC e PD, não foram observadas diferenças significativas entre os estoques de N total da camada 0-0,20 m do solo irrigado e não irrigado.

Diferentemente da dinâmica do C orgânico no solo, onde a efeito da irrigação no aumento da adição pelas culturas é anulado pelo aumento do k_2 , no caso do N total o provável incremento na adição de N em virtude da maior reciclagem de resíduos, foi compensado pelo aumento na extração desse nutriente via grãos. Outras perdas de N do solo podem ocorrer devido à sua maior mineralização, o qual pode ser lixiviado, volatilizado ou desnitrificado (Bayer, 1992).

5.5. Fração leve da matéria orgânica do solo

A Figura 12 apresenta a concentração de C na fração leve (C-FL) da matéria orgânica no perfil do solo nos tratamentos PC e PD, com e sem irrigação, e no solo sob campo nativo. Em geral, constataram-se maiores teores de C-FL da MOS nas camadas 0-0,025 e 0,025-0,050 m do solo em PD, comparativamente ao solo em PC, independente do uso ou não da irrigação por aspersão (Figuras 12a e 12b). Essa situação se inverteu nas camadas 0,050-0,10 e 0,10-0,20 m, onde o solo sob PC demonstrou maiores teores de C-FL em relação ao solo do sistema PD.

Avaliando à distribuição do C-FL no perfil do solo dentro de cada sistema de preparo, observou-se no sistema PD uma elevada concentração de C-FL da MOS na camada 0-0,050 m, havendo um acentuado decréscimo em profundidade (Figuras 12d). O solo sob PC, por sua vez, apresentou maiores teores de C-FL na camada superficial 0-0,025 m, sendo que nas camadas subseqüentes a concentração foi menor e relativamente uniforme (Figuras 12c).

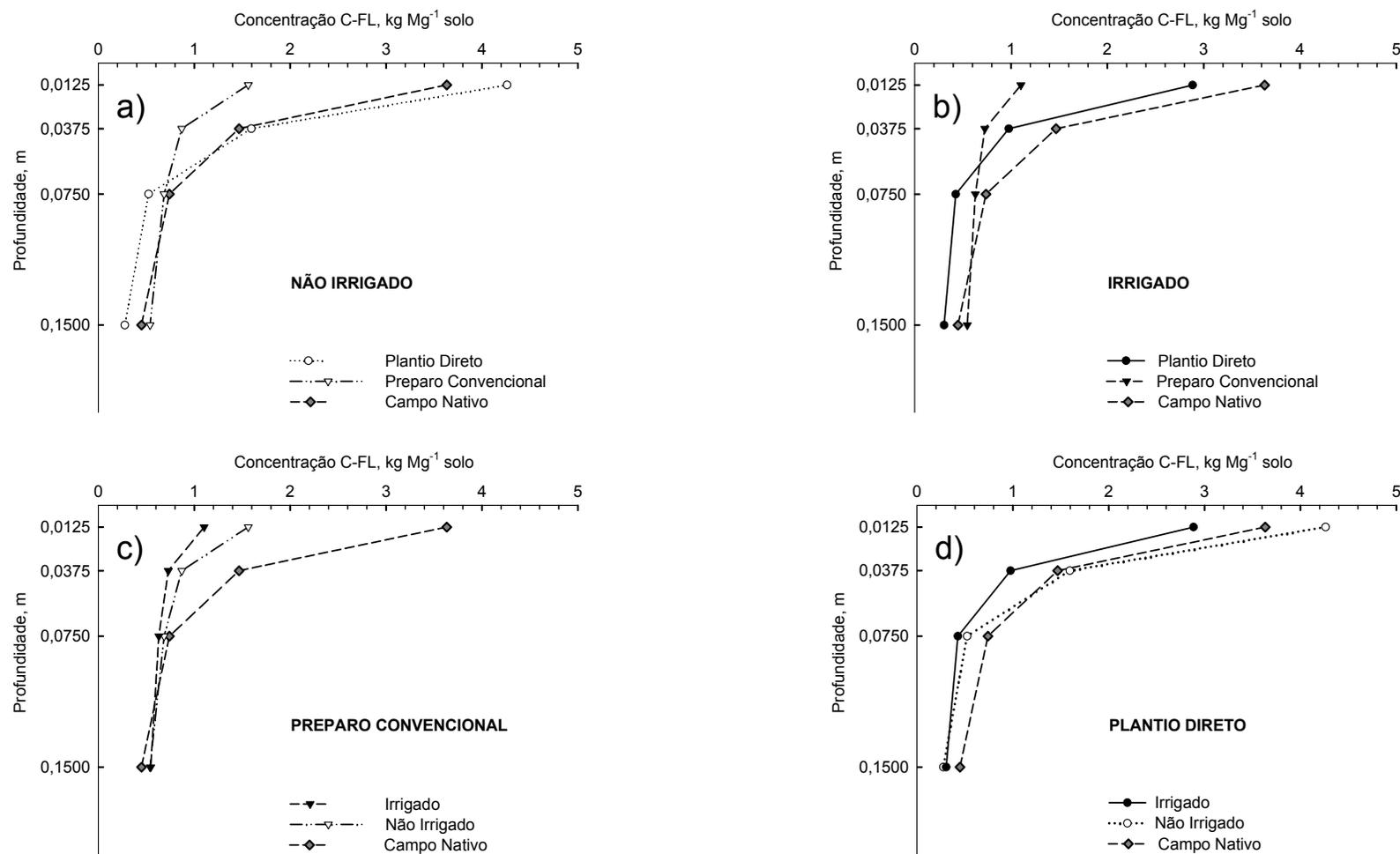


Figura 12. Concentração de C na fração leve (C-FL) da matéria orgânica do solo (MOS), obtida por fracionamento físico densimétrico utilizando NaI 1,8 g cm⁻³, no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e no solo sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

As maiores concentrações do C-FL da MOS nas camadas superficiais (0-0,025 e 0,025-0,050 m) do solo em PD (Figuras 12a, 12b e 12d) se devem, principalmente, ao aporte anual de resíduos das culturas de milho e aveia+ervilhaca e sua deposição sobre o solo. Trabalhando com solos de florestas, Spycher et al. (1983) obtiveram um perfil de distribuição do C-FL semelhante ao observado para o solo sob PD. Já no PC (Figura 12c) as práticas anuais de mobilização do solo (aração, gradagem) incorporaram os resíduos na matriz do solo, promovendo a redistribuição do C-FL no perfil. Associado ao revolvimento do solo há um aumento na oxidação do C-FL da MOS no sistema PC, o que aumenta as discrepâncias entre as concentrações de C-FL dos tratamentos de preparo (Figuras 12a e 12b). Bayer et al. (2001) estimaram as taxas relativas de decomposição da MOS em diferentes frações granulométricas de um solo Argissolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo, onde constataram, para as frações > 53 µm (equivalentes a FL deste estudo), valores de k_2 aproximadamente duas vezes maiores no sistema PC em relação ao PD.

Considerando a rápida ciclagem do C-FL da matéria orgânica no solo e, portanto, a importância do contínuo aporte de C via fitomassa, vale a pena salientar a influência da época de amostragem sobre os teores de C-FL encontrados no solo (Spycher et al., 1983; Janzen et al., 1992). Em todos os tratamentos foram observadas concentrações de C-FL da MOS notoriamente superiores na camada 0-0,025 m (Figura 12), o que é atribuído, em parte, aos resíduos vegetais adicionados pela cobertura de inverno durante o decorrer do ciclo de crescimento e desenvolvimento, tendo em vista que a coleta foi realizada próxima à fase de maturação fisiológica das plantas.

O campo nativo é caracterizado como um solo em estado estável (Spycher et al., 1983) (Figura 12), sendo que, neste trabalho, foi selecionado como área de referência no intuito de avaliar a influência antrópica na dinâmica do C orgânico no solo, mais precisamente, dos sistemas de preparo e do uso da irrigação por aspersão. A concentração de C-FL da MOS no campo nativo variou de acordo com a profundidade, no perfil do solo, de forma similar ao observado para os perfis do solo sob PD irrigado e não irrigado (Figura 12d). Constatou-se, no entanto, maiores teores de C-FL nas camadas subsuperficiais (0,050-0,10 e 0,10-0,20 m) do solo sob campo nativo, comparativamente ao

sistema PD (Figura 12d), possivelmente devido à constante renovação do sistema radicular das gramíneas, sendo a adição de C em profundidade realizada pelas raízes senescentes.

Em ambos os tratamentos de preparo de solo, as áreas irrigadas apresentaram menores teores de C-FL da MOS, principalmente nas camadas superficiais, comparadas às áreas não irrigadas (Figuras 12c e 12d). Seguindo as tendências do C orgânico, a maior adição de biomassa vegetal pelas culturas na área irrigada também não aumentou o C-FL (Tabela 3), prevalecendo o efeito do aumento das taxas de decomposição da MOS pela maior disponibilidade de água no solo (Figura 9).

A fração leve da MOS apresentou concentrações de C que variaram de 190 a 370 kg C Mg⁻¹ FL (Tabela 7). Sabendo que os resíduos vegetais possuem aproximadamente 400 kg C Mg⁻¹ MS em sua estrutura, os valores mais elevados indicam fração leve composta por material orgânico em fase de inicial de decomposição, basicamente liteira (Skjemstad et al., 1986), oriunda da constante adição de restos de plantas ao solo.

A Tabela 7 apresenta os estoques de C-FL da MOS estimados a partir das respectivas concentrações utilizando a metodologia da massa equivalente de solo (Ellert & Bettany, 1995). Observa-se que as diferenças entre tratamentos de preparo e irrigação, discutidos anteriormente para os teores de C-FL, demonstraram as mesmas tendências na variável estoque. Contrário ao constatado nos estoques de C orgânico da camada 0-0,20 m (Tabela 7), neste caso ficaram mais evidentes as diferenças entre o estoque de C-FL dos solos devido aos efeitos dos sistemas de preparo e uso da irrigação. Assim, na área não irrigada o solo sob PD apresentou estoque de C-FL na camada total aproximadamente 27% superior ao encontrado no PC. Já na área irrigada, o suprimento de água tornou a diferença entre os estoques totais de C-FL do sistema PD e PC não considerável.

Enquanto a máxima diferença entre os estoques de C orgânico da camada 0-0,20 m do solo da área irrigada e não irrigada, dentro dos sistemas de preparo, atingiu apenas 3%, os estoques de C-FL expressaram diferenças de aproximadamente 30 e 12% a favor do tratamento não irrigado nos solos cultivados em PD e PC, respectivamente. As maiores taxas de decomposição

TABELA 7. Estoques e concentração de C orgânico da fração leve (C-FL) da matéria orgânica solo (MOS), obtida por fracionamento físico densimétrico utilizando NaI 1,8 g cm⁻³, nas camadas do solo cultivado nos sistemas de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, e sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

	Camada (m)	M. Solo ¹ (Mg ha ⁻¹)	C-FL			C-FL/CT.100 ² (%)
			(kg Mg ⁻¹ solo)*	(kg Mg ⁻¹ FL)*	(Mg ha ⁻¹)*	
PC N-Irrig.	0-0,021	368	1,56 (± 0,04)	350	0,58 (± 0,02)	14
	0,021-0,042	368	0,87 (± 0,02)	310	0,32 (± 0,01)	8
	0,042-0,095	846	0,69 (± 0,01)	300	0,58 (± 0,01)	7
	0,095-0,206	1748	0,54 (± 0,01)	230	0,94 (± 0,02)	6
	0-0,206				2,42 (± 0,03)	8
PC Irrig.	0-0,021	368	1,10 (± 0,00)	310	0,41 (± 0,00)	10
	0,021-0,042	368	0,73 (± 0,02)	280	0,27 (± 0,01)	7
	0,042-0,095	846	0,63 (± 0,00)	260	0,53 (± 0,00)	7
	0,095-0,206	1748	0,55 (± 0,01)	290	0,95 (± 0,01)	6
	0-0,206				2,16 (± 0,01)	7
PD N-Irrig.	0-0,023	368	4,26 (± 0,13)	370	1,57 (± 0,05)	19
	0,023-0,045	368	1,60 (± 0,02)	340	0,59 (± 0,01)	11
	0,045-0,098	846	0,52 (± 0,02)	280	0,44 (± 0,02)	6
	0,098-0,204	1748	0,28 (± 0,01)	220	0,48 (± 0,02)	4
	0-0,204				3,08 (± 0,02)	10
PD Irrig.	0-0,023	368	2,89 (± 0,21)	360	1,06 (± 0,08)	15
	0,023-0,045	368	0,98 (± 0,03)	320	0,36 (± 0,01)	8
	0,045-0,098	846	0,43 (± 0,02)	240	0,36 (± 0,02)	5
	0,098-0,204	1748	0,31 (± 0,00)	190	0,53 (± 0,01)	4
	0-0,204				2,31 (± 0,09)	7
CN	0-0,025	368	3,63 (± 0,05)	360	1,34 (± 0,02)	19
	0,025-0,050	368	1,47 (± 0,01)	340	0,54 (± 0,00)	12
	0,050-0,10	846	0,74 (± 0,03)	300	0,63 (± 0,03)	8
	0,10-0,20	1748	0,45 (± 0,00)	270	0,79 (± 0,00)	6
	0-0,20				3,30 (± 0,05)	10

Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média. ¹Massa de solo por hectare ²C-FL/CT.100 = percentagem do estoque total de carbono orgânico do solo representado pelo carbono da fração leve da MOS.

da MOS no sistema PC em relação ao PD (Figura 9), e a baixa recalcitrância da FL (Skjemstad et al., 1986; Christensen, 1987), provavelmente, são responsáveis pela menor diferenciação entre os tratamentos de irrigação.

As frações lábeis da MOS são apontadas como bons indicadores da qualidade do sistema de manejo do solo devido à sua apurada sensibilidade a mudanças recentes implementadas nos sistemas agrícolas (Janzen et al.,

1992; Bremer et al.; Bayer, 1996; Bayer et al., 2002a). Essa sensibilidade é conferida pelas características relacionadas à constituição química da FL, sendo que ela é composta basicamente por carboidratos (Skjemstad et al., 1986), cuja decomponibilidade é alta. Skjemstad et al. (1986) verificaram que, após 35 anos de cultivo do solo, a fração da matéria orgânica $< 1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ foi reduzida em 95%, enquanto que a fração $> 2,4 \text{ Mg m}^{-3}$ não foi alterada. Diminuição dos teores de C-FL da MOS podem ser interpretados como indícios de degradação do solo, em virtude de uma prática inadequada introduzida no sistema de cultivo do solo. Assim como aumento nos estoques de C-FL da MOS podem ser resultantes da adoção de sistemas de manejo que privilegiam a adição de resíduos pelas culturas (rotações), reduzem a mobilização do solo, utilizando práticas agrícolas que buscam aumentar e manter a fração orgânica do solo.

A Figura 13 apresenta o estoque relativo de C nas frações leve e pesada da MOS na camada 0-0,20 m do solo. Observa-se que a participação da FL na composição dos estoques de C orgânico dessa camada do solo varia entre 7 e 10%, sendo que nas camadas superficiais esses valores foram mais expressivos, principalmente no sistema PD (Tabela 7). Concordando com os demais resultados, o PD não irrigado possui um estoque médio de C-FL na MOS na camada 0-0,20 m similar à área de referência (campo nativo) (Tabela 7, Figura 13).

A relação entre C-FL e C-FP pode ser utilizada na estimativa da labilidade do C orgânico do solo. A labilidade do C é um dos componentes do Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo (Blair et al. 1995), sendo um indicador do contínuo fluxo de C e energia que ocorre entre os subsistemas mineral e biológico do solo. Considerando somente esse parâmetro do IMC, quanto maior a razão C-FL/C-FP, maior é a labilidade do C orgânico, o que sugere uma contínua adição de resíduos pelas plantas e condições de baixa decomposição no solo, havendo um acúmulo de MOS e, conseqüentemente, um maior fluxo de energia e matéria no sistema solo, favorecendo o surgimento de propriedades emergentes do ciclo do C no solo (Vezzani, 2001). Sistemas conservacionistas tendem a determinar uma maior labilidade da MOS, em adição ao maior estoque de C orgânico.

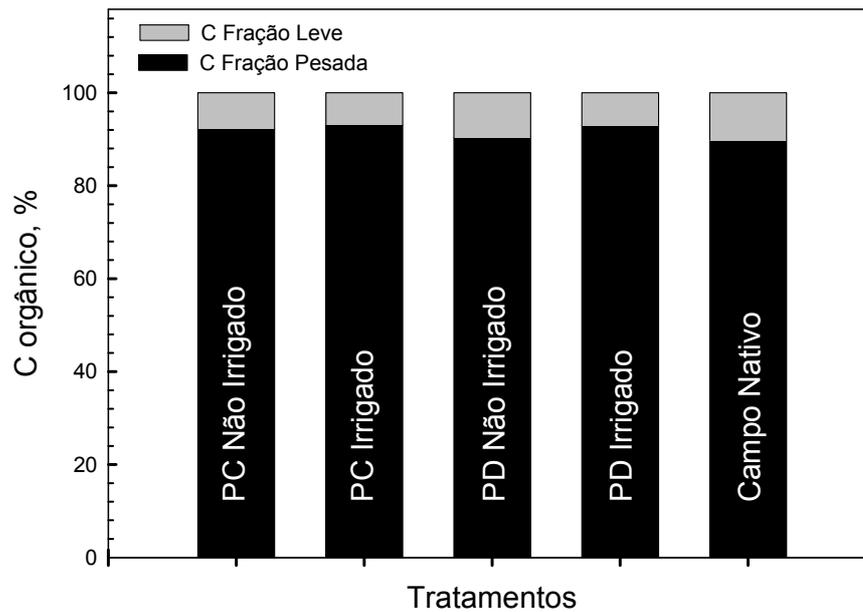


Figura 13. Percentagem de C orgânico acumulado nas frações leve (C-FL) e pesada (C-FP) na camada 0-0,20 m do solo cultivado em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e mantido sob campo nativo (CN). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Os resultados referentes à variação na labilidade do C orgânico no perfil do solo devido aos tratamentos encontram-se representados graficamente na Figura 14. Observa-se, inicialmente, que a labilidade segue as tendências da concentração de C-FL apresentados na Tabela 7. Comparativamente ao solo submetido ao PC, a labilidade do C no solo sob PD foi maior nas camadas superficiais (0-0,025 e 0,025-0,050 m) e menor nas subsuperficiais (0,050-0,10 e 0,10-0,20 m), no tratamento sem irrigação (Figura 14a). Esse comportamento se manteve na área irrigada (Figura 14b), excetuando-se a camada 0,025-0,050 m do solo que não demonstrou diferenças aparentes entre os tratamentos de preparo.

Independente do sistema de manejo de solo adotado (Figuras 14c e 14d), a labilidade do C tendeu a apresentar maiores valores no sistema não irrigado em relação ao irrigado em quase todo o perfil do solo (0-0,20 m). Concordando com os dados de C-FL do solo (Tabela 7), as diferenças devido ao efeito da irrigação foram menores no sistema PC e nas camadas de solo subsuperficiais (Figura 14c).

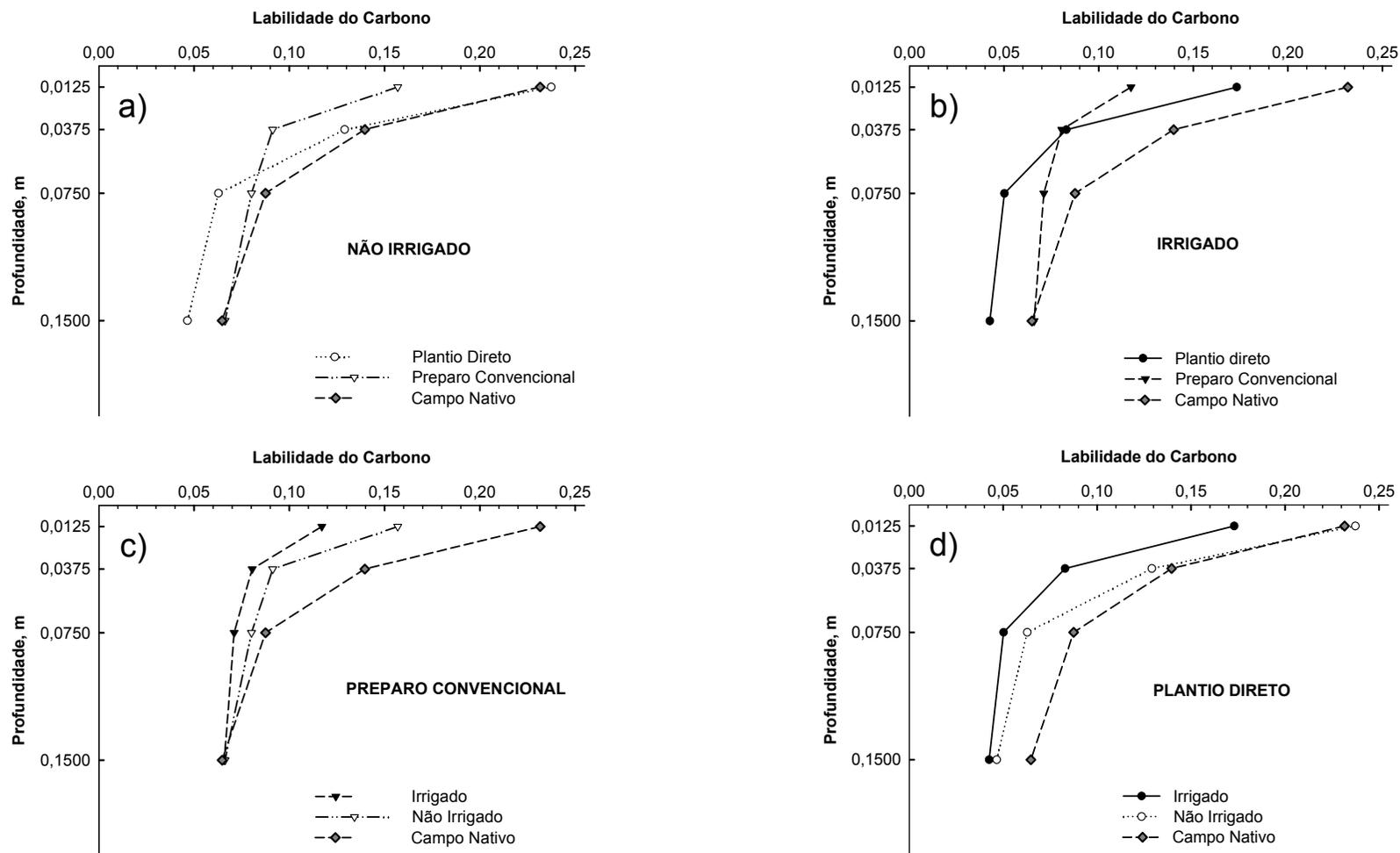


FIGURA 14. Labilidade do C da matéria orgânica do solo (MOS) ($LC = \text{teor de C-FL} / \text{teor de C-FP}$) no perfil do solo cultivado em plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, e no solo sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

De modo geral, as maiores labilidades do C verificadas no solo sob PD em relação ao PC (Figuras 14a e 14b), e nos tratamentos sem irrigação comparativamente aos irrigados (Figuras 14c e 14d), denotam um maior fluxo de energia e matéria entre os subsistemas mineral e biológico desses solos, indicando uma maior organização do sistema, que promove o aparecimento das propriedades emergentes, e uma maior qualidade destes sistemas de manejo. Nesse sentido, pode-se observar a similaridade entre a distribuição da labilidade do C orgânico no perfil do solo manejado no sistema PD não irrigado e mantido na condição natural (campo nativo) (Figuras 14a e 14d).

5.6. Índice de Manejo de Carbono (IMC) do solo

O Índice de Manejo de Carbono (IMC) foi desenvolvido por Blair et al. (1995), utilizando a oxidação química com KMnO_4 para a determinação das frações lábeis da MOS, e tem por finalidade avaliar a qualidade do sistema de manejo através da avaliação do seu efeito no estoque e labilidade do C orgânico do solo (Whitbread et al., 1996; Blair et al., 1998; Blair et al., 2000). Recentemente, Diekow et al. (2004 – no prelo) e Vieira et al. (2004) propuseram a utilização do fracionamento físico do solo em substituição ao KMnO_4 na obtenção das frações lábeis da MOS usadas na determinação do IMC. As estimativas do IMC são realizadas considerando as variações ocorridas nas concentrações de C orgânico e de C-FL através do índice de estoque de C (IEC) e do índice de labilidade de C (ILC), respectivamente. Na Tabela 8 são apresentados os resultados referentes ao IEC, LC, ILC e o IMC, calculados para a camada 0-0,20 m do solo submetido aos sistemas de preparo PC e PD, com e sem irrigação, e sob campo nativo (área de referência, IMC = 100), conforme descrito no item 4.3.3.

Observa-se que o IEC não apresentou diferenças consideráveis entre os tratamentos de preparo e irrigação, bem como também não variou em relação à área de referência (Tabela 8). Esses resultados são explicáveis pelas pequenas diferenças existentes entre as concentrações médias de C orgânico da camada 0-0,20 m do solo devido aos tratamentos (Tabela 5), as quais foram similares à concentração média da respectiva camada no campo nativo ($9,91 \text{ kg Mg}^{-1}$).

TABELA 8. Índice de estoque de C (IEC), labilidade do C (LC), índice de labilidade do C (ILC) e índice de manejo do C (IMC) do solo cultivado em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e sob campo nativo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

TRATAMENTOS	IEC	LC	ILC	IMC
Campo Nativo	1,000	0,119	1,000	100
PC Não Irrigado	0,953	0,086	0,724	69
PC Irrigado	0,946	0,076	0,641	61
PD Não Irrigado	1,000	0,113	0,950	95
PD Irrigado	1,025	0,079	0,666	68

Por outro lado, a LC e o ILC na camada 0-0,20 m do solo foram afetados pelos tratamentos, confirmando as tendências verificadas anteriormente para a labilidade nas subcamadas de solo (Figura 14). Considerando a média dos tratamentos de irrigação, verificou-se que o solo sob PD apresentou um valor de ILC aproximadamente 18% superior ao correspondente do solo cultivado em PC (0,808 e 0,682, respectivamente). Observa-se ainda, que o uso da irrigação reduziu o ILC de 0,724 para 0,641 no solo em PC, e de 0,950 para 0,666 no solo em PD (Tabela 8). Esses resultados demonstram a maior sensibilidade do ILC, comparativamente ao IEC, em detectar alterações na MOS a médio prazo (Diekow et al., 2004 – no prelo).

Na Figura 15 estão representados os IMC em sistema PC e PD, com e sem irrigação por aspersão. Diante da pequena diferença entre os IMC do solo irrigado e não irrigado no sistema PC, pode-se afirmar que a qualidade do manejo do solo neste sistema de preparo foi pouco influenciada pela irrigação (Tabela 8). Por outro lado, no sistema PD constatou-se uma diferença em valores absolutos mais expressiva, sendo que o PD não irrigado apresentou um IMC de 95 e o PD irrigado um IMC igual a 68 (Tabela 8, Figura 15). Embora o PD irrigado tenha estoque similar de C orgânico ($32,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 5), o IMC foi bem inferior ao PD não irrigado, o que foi decorrente da menor labilidade do C (Tabela 8, Figura 12d), resultante da acelerada decomposição da MOS pelo uso da irrigação (Figura 9).

Partindo do que é proposto pelo IMC (Blair et al., 1995), as reduções observadas nesse índice com o uso da irrigação sugerem que essa prática

diminui a qualidade do sistema de manejo. Cabe salientar, no entanto, que esse resultado deve ser interpretado mais como um sinal de alerta e encarado sob um ponto de vista crítico, pois, embora induza uma diminuição do IMC, a irrigação também aumenta a produção das culturas agrícolas. Nesse sentido, acredita-se que a agricultura irrigada deva ser conduzida utilizando rotações de culturas com plantas que adicionam elevadas quantidades de fitomassa ao solo, evitando também o uso de práticas com intenso revolvimento do solo. Esses cuidados no manejo, provavelmente, mantenham a produtividade das áreas irrigadas sem risco de degradação do solo a médio e longo prazo.

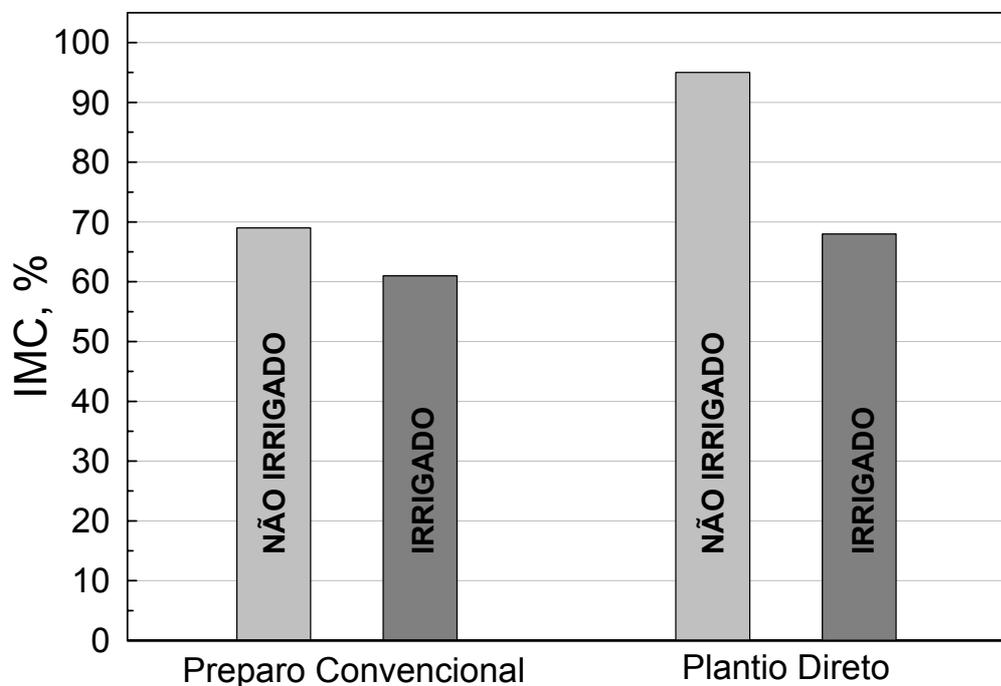


FIGURA 15. Índice de manejo de C (IMC) do solo submetido ao sistema de manejo plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

5.7. Balanço entre efluxo e influxo de C em áreas irrigadas por aspersão sob diferentes sistemas de manejo de solo

Primeiramente, deve-se salientar que os resultados do custo de C com a irrigação, a seguir apresentados e discutidos, foram estimados para o sistema pivô central, embora esta pesquisa tenha sido desenvolvida utilizando irrigação por aspersão convencional, em virtude da escassez de dados na

literatura sobre o consumo energético demandado por este último sistema de irrigação.

Na Tabela 9 são apresentados os dados referentes ao seqüestro de C no solo conduzido sob diferentes sistemas de manejo durante oito anos, o qual foi determinado em função do C emitido com a prática da irrigação (Apêndice 9) e operações de preparo de solo (Apêndice 11), e do C retido no solo na forma de C orgânico. Os efeitos dos sistemas de manejo de solo e uso da irrigação por aspersão sobre o seqüestro de C foram determinados em relação ao solo cultivado sob PC não irrigado. Verifica-se que os custos acumulados da irrigação para áreas irrigadas por pivô central utilizando diesel e energia elétrica (oriunda de usinas termoelétricas) foram 1,26 e 0,42 Mg ha⁻¹ de CE, respectivamente (Tabela 9). Esses resultados concordam com o estudo de Follet (2001), em que esse autor observou que a emissão de C por hectare pode aumentar até quatro vezes, dependendo da fonte energética utilizada para o bombeamento da água de irrigação.

O uso da irrigação no solo sob PC não aumentou a retenção de C na MOS, pelo contrário, diminuiu os estoques de C orgânico do solo em relação ao PC não irrigado, o que está associado a maiores taxas de decomposição da MOS nesse tratamento comparado aos demais (Figura 9). Dessa maneira, estima-se, com base nos dados desse experimento que, ao final de oito anos, esse sistema liberaria para atmosfera aproximadamente 1,36 e 0,52 Mg ha⁻¹ de CE se fosse irrigado por pivô central utilizando diesel ou energia elétrica como fontes energéticas, respectivamente (Tabela 9).

Comparativamente ao solo cultivado em PC não irrigado, o solo em PD apresentou um incremento nos estoques de C orgânico do solo em ambos os sistemas de irrigação. Constatou-se também que o sistema de manejo de solo PD foi eficiente em seqüestrar CO₂ atmosférico na MOS (Tabela 9), corroborando o que já fora observado por outros autores (Bayer et al., 2000a; West & Marland, 2002). Além do maior acúmulo de C orgânico no solo, a maior eficiência do sistema PD em relação ao PC no seqüestro de CO₂ também foi devida ao menor custo de C proveniente das operações de preparo (0,03 e 0,24 Mg CE ha⁻¹, respectivamente) (Tabela 9).

No sistema PD, pode se observar que, apesar da irrigação ter aumentado em 1 Mg ha⁻¹ o C retido no solo, isso não se reflete num seqüestro

de C maior neste sistema, comparativamente à área não irrigada, quando consideramos a irrigação realizada por pivô central utilizando óleo diesel como combustível (Tabela 9). Esse fato demonstra a importância de se levar em conta o tipo de irrigação e a fonte de energia utilizada no balanço entre efluxo e influxo de C do solo sob determinado sistema de manejo, sendo que não basta haver um aparente acúmulo de C orgânico no solo quando, na verdade, ocorre uma emissão de C expressiva para promover esse incremento.

TABELA 9. Estimativa do seqüestro de C no solo manejado durante oito anos sob sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com (Irrig.) e sem (N-Irrig.) irrigação por aspersão, sendo os custos (emissões) em C equivalente (CE) da irrigação referentes ao sistema de irrigação pivô central utilizando diesel ou energia elétrica como fonte energética. UFRGS, 2004.

Tratamentos	C Solo	Δ Solo	Custo C		Seqüestro de C ⁴
			Op. agrícolas ²	Irrigação ³	
----- Mg CE ha ⁻¹ -----					
DIESEL					
PC N-irrig. ¹	31,1	-	0,24	-	-
PC Irrig.	31,0	-0,10	0,24	1,26	-1,36
PD N-irrig.	31,8	0,70	0,03	-	0,91
PD Irrig.	32,8	1,70	0,03	1,26	0,65
ENERGIA ELÉTRICA					
PC N-irrig. ¹	31,1	-	0,24	-	-
PC Irrig.	31,0	-0,10	0,24	0,42	-0,52
PD N-irrig.	31,8	0,70	0,03	-	0,91
PD Irrig.	32,8	1,70	0,03	0,42	1,49

¹As diferenças nos estoques de carbono orgânico do solo (Δ C Solo) foram determinadas em relação ao solo cultivado no sistema preparo convencional não irrigado.

²C acumulado emitido pelas operações agrícolas utilizadas na implantação da cultura do milho nos sistemas de preparo PD e PC durante um período de 8 anos (Apêndice 11).

³C acumulado emitido pela utilização das fontes energéticas diesel e energia elétrica para irrigação do milho durante um período de 8 anos (Apêndice 9).

⁴Valores positivos e negativos indicam influxo e efluxo de C do solo, respectivamente.

Vale destacar que o efeito dos sistemas de preparo sobre o armazenamento e disponibilidade de água as plantas pode diminuir a quantidade de água a ser suplementada via irrigação, reduzindo os custos de C com essa prática. Harman et al. (1998) trabalhando com as culturas de milho e

sorgo na região do Texas (Estados Unidos), observaram que o uso do sistema PD em relação ao PC reduziu o volume de água irrigada em 25 e 50% para o milho e sorgo, respectivamente, sem afetar significativamente o rendimento das culturas.

As taxas de efluxo e influxo de C no solo, e o respectivo saldo líquido referente aos diferentes tratamentos são observados na Figuras 16 e 17. Nota-se que esses resultados são similares aos apresentados e discutidos na Tabela 9. As taxas de emissão de C estimadas foram de 0,16 e 0,05 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹ relativas ao uso da irrigação por sistema pivô central utilizando as fontes energéticas diesel e energia elétrica, respectivamente (Figuras 16b e 17b). O primeiro resultado concorda com os resultados obtidos por Follet (2001), que estimou taxas de emissão entre 0,15 e 0,20 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹ devido à prática da irrigação para a área agrícola irrigada dos Estados Unidos (20,2 Mha). Já a estimativa da taxa de efluxo obtida para a irrigação baseada no uso de energia elétrica está abaixo dos dados encontrados na literatura (Schlesinger, 1999; 2000; Follet, 2001; West & Marland, 2002). No entanto, deve-se considerar que as estimativas desses autores foram realizadas em termos anuais, o que sugere vários ciclos das mais diversas culturas durante o ano em regiões áridas e semi-áridas, diferentemente deste estudo em que a irrigação restringe-se a 3 ou 4 meses do ano, de modo que isso justificaria os valores de emissão de C mais elevados.

O saldo líquido entre o efluxo e influxo de C do solo, quando positivo, determina a real taxa de seqüestro de cada tratamento. Verifica-se que a taxa de seqüestro de C no solo varia de 0,08 a 0,19 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo do sistema de manejo e da fonte energética utilizada pelo equipamento de irrigação (Figuras 16c e 17c). Lal et al. (1999) constataram taxas de seqüestro na MOS devido ao uso da irrigação com valores entre 0,05 e 0,15 Mg CE ha⁻¹ ano⁻¹.

Associado à irrigação, o sistema de preparo adotado exerce grande influência sobre o seqüestro de C no solo (Tabela 9, Figura 16c e 17c), principalmente devido aos custos de C referentes às operações agrícolas intrínsecas de cada sistema de manejo (Tabela 9, Figura 16b e 17b). Observa-se que as práticas de lavração e gradagem (duas vezes) para a implantação da

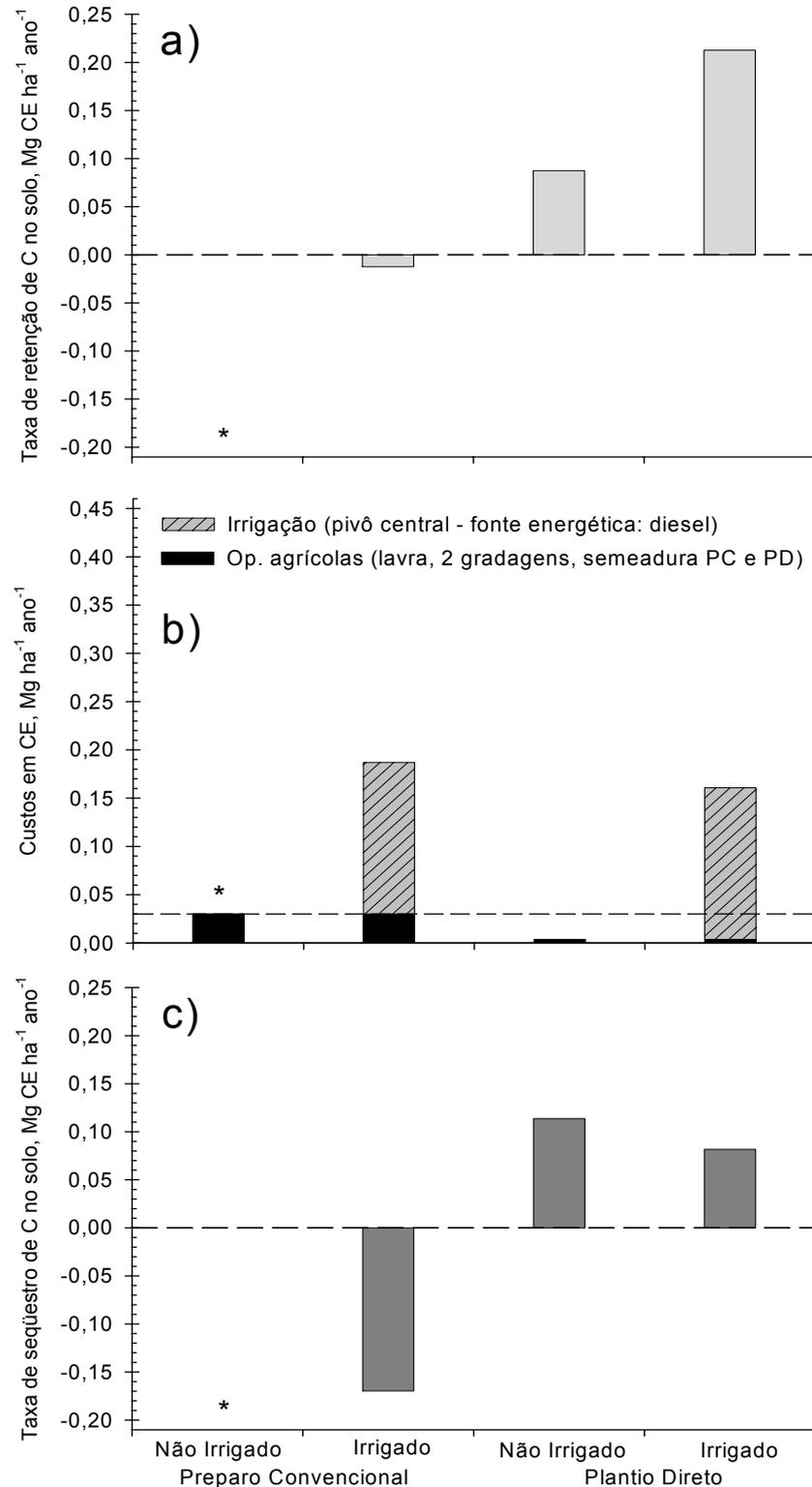


FIGURA 16. Balanço entre efluxo e influxo de C do solo em função do sistema de manejo (PD – plantio direto e PC - preparo convencional) e do uso da irrigação por aspersão (Irrig. – irrigado e N-Irrig. – não irrigado), estimado para o sistema de irrigação pivô central utilizando diesel como fonte de energia. UFRGS, 2004.

*As taxas de retenção e seqüestro de C no solo foram determinadas em comparação ao solo manejado em preparo convencional não irrigado.

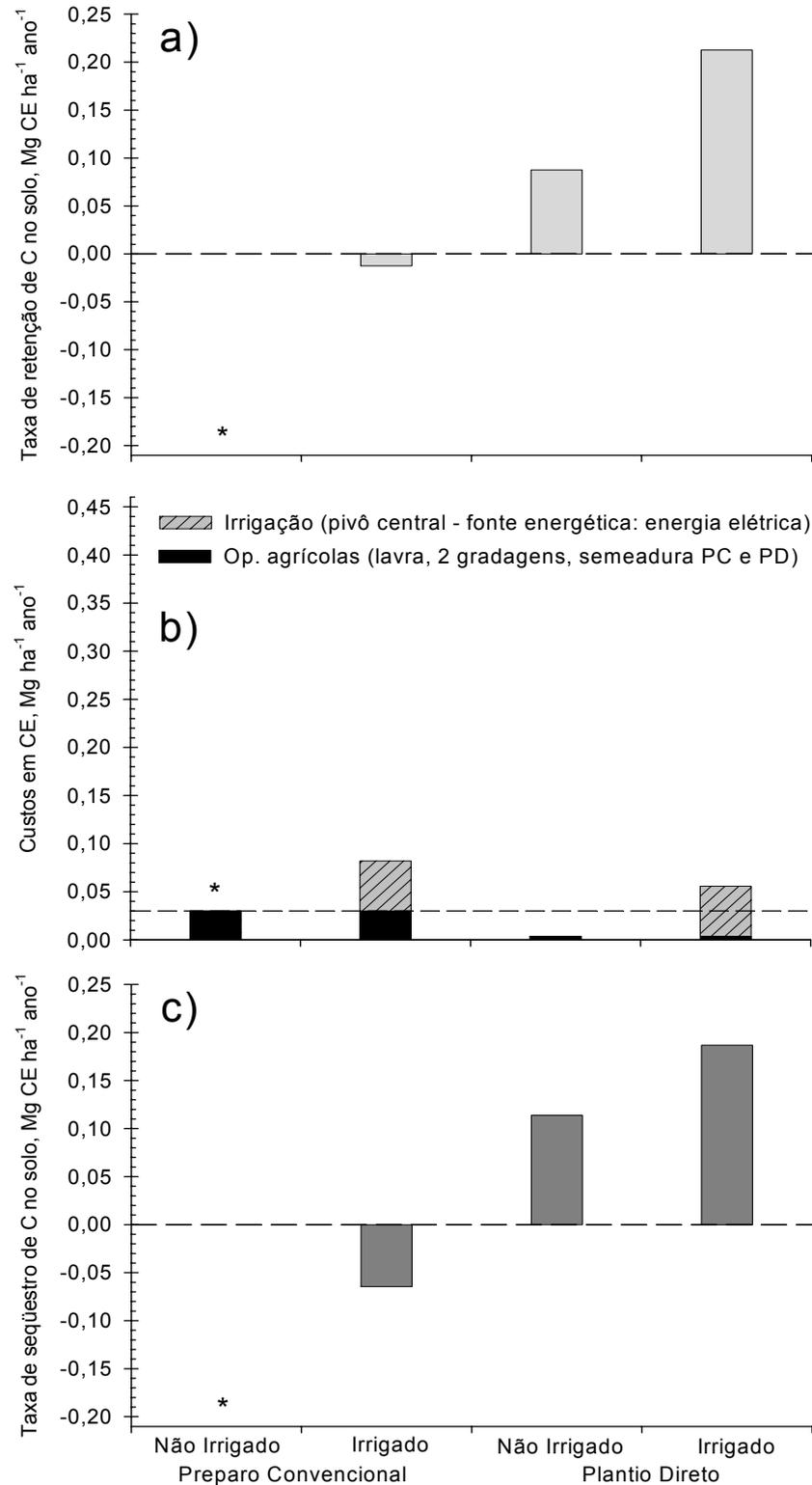


FIGURA 17. Balanço entre efluxo e influxo de C do solo em função do sistema de manejo (PD – plantio direto e PC - preparo convencional) e do uso da irrigação por aspersão (Irrig. – irrigado e N-Irrig. – não irrigado), estimado para o sistema de irrigação pivô central utilizando energia elétrica como fonte de energia. UFRGS, 2004.

*As taxas de retenção e seqüestro de C no solo foram determinadas em comparação ao solo manejado em preparo convencional não irrigado.

cultura do milho no sistema PC aumentaram em $0,027 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ as taxas de emissão de C em comparação ao PD (Figuras 16b e 17b, Apêndice 11). West & Marland (2002) verificaram que o solo sob sistema PD apresenta uma taxa de seqüestro líquida relativa ao solo cultivado sob sistema PC de $0,37 \text{ Mg CE ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Vale a pena ressaltar que, neste estudo, as estimativas de emissão levaram em consideração somente o C emitido ligado ao sistema de irrigação e as operações de preparo em si. Porém, as áreas agrícolas irrigadas geralmente utilizam mais fertilizantes (Ceretta & Silveira, 2001), pesticidas e demais insumos, visando obter altas produtividades. Todos esses fatores de produção apresentam custo em CE, tanto na manufatura como no transporte, armazenamento e aplicação (West & Marland, 2002), de modo que o saldo líquido entre efluxo e influxo de C pode sofrer algumas alterações.

6. CONCLUSÕES

- A maior disponibilidade hídrica nos sistemas irrigados aumenta a decomposição dos resíduos vegetais, sendo a diferença mais expressiva nos solos sob plantio direto em relação ao solo em preparo convencional. A incorporação dos resíduos vegetais no preparo de solo acelera a decomposição dos resíduos vegetais.

- A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo em plantio direto aumenta os estoques de C orgânico e N total nas camadas superficiais do solo, enquanto que o revolvimento do solo no preparo convencional incrementa os estoques desses elementos nas camadas subsuperficiais.

- A maior adição de fitomassa em condições irrigadas não se reflete em aumento do conteúdo de C orgânico e N total do solo. As camadas superficiais do solo irrigado por aspersão tendem a apresentar diminuição dos estoques desses elementos.

- As taxas de decomposição da matéria orgânica do solo são aceleradas pelo aumento da água disponível nos solos irrigados por aspersão, sendo esse efeito coerente com as maiores taxas de decomposição dos resíduos vegetais que se verificam na superfície do solo dos sistemas irrigados.

- Os estoques de C das frações lábeis da matéria orgânica são afetados em maior magnitude do que os estoques de C orgânico do solo em função do uso da irrigação e de sistemas de preparo. A irrigação e o método de preparo convencional reduzem, consideravelmente, os estoques de C da fração leve da matéria orgânica do solo.

- A qualidade do sistema de manejo, avaliada pelo índice de manejo de carbono (IMC), aumenta com a adoção do sistema plantio direto em substituição ao preparo convencional, sob mesmas condições de irrigação. Já o uso da irrigação, apesar de aumentar o rendimento das culturas e o aporte de resíduos vegetais, diminui o IMC dentro do mesmo sistema de preparo.

- O efeito da irrigação por aspersão no seqüestro de C no solo é dependente dos sistemas de preparo de solo e das fontes energéticas utilizadas na prática da irrigação.

- A utilização da irrigação por aspersão deve ser associada a métodos de preparo que minimizem o revolvimento do solo, rotações de culturas que incrementam a adição de C, e ao uso de fontes energéticas renováveis e/ou menos poluentes, a fim de que, além do aumento de produtividade das culturas, seja possível manter ou melhorar a qualidade do solo e do ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. de A. et al. Decomposição de resíduos e liberação de nutrientes pela aveia preta adubada com doses de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: SBCS, 2001. p. 278.

ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 161-168, 1995.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: J. Wiley, 1961. 472 p.

AMADO, T. J. C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II – Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1085-1096, 2003.

ANDRÉN, O.; STEEN, E.; RAJKAI, K. Modelling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 24, n. 8, p. 727-736, 1992.

ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A.; CÔTÉ, D. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 2, p. 512-516, 1993.

ANGERS, D. A. et al. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, n. 3-4, p. 191-201, 1997.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 28, n. 9, p. 1261-1263, 1996.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 25-30, 1987.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 172 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO_2 . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000b.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1473-1478, 2001.

BAYER, C. et al. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 401-406, 2002a.

BAYER, C. et al. Ciclagem de carbono e fluxo de gases do efeito estufa em agroecossistemas. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: NRS-SBCS, 2002b. 1 CD-ROM.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p. 81-87, 2003.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. p. 25-32.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e Região de Abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BERGAMASCHI, H. **Histórico do rendimento das culturas de cobertura e do milho durante oito anos de experimento**. Porto Alegre, UFRGS, 10 out. 2004. Comunicação informal.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BLAIR, J. B.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

BLAIR, J. B. et al. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in north-east Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 36, n. 6, p. 873-881, 1998.

BLAIR, N.; CROCKER, G. J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 38, n. 1, p. 71-84, 2000.

BLOEM, J. et al. Microbial numbers and activity in dried and rewetted arable soil under integrated and conventional management. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 24, n. 7, p. 655-665, 1992.

BOLINDER, M. A. et al. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 215, n. 1, p. 85-91, 1999.

BREMER, E.; ELLERT, B. H.; JANZEN, H. H. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, n. 5, p. 1398-1403, 1995.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effects of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 190, n. 2, p. 309-316, 1997.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARLESSO, R.; SPOHR, R. **Estatísticas do consumo de energia pelo sistema de irrigação pivô central**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 15 dez. 2004. Comunicação informal.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CERETTA, C. A.; SILVEIRA, M. J. da Manejo da fertilidade do solo para altas produtividades. In: CARLESSO, R. (Ed.) **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Imprensa Universitária/UFSM, 2001. p. 79-83. 10-20.

CERRI, C. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 1986. 197 f. Tese (Livre docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CHRISTENSEN, B. T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effects of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 17, n. 5, p. 691-697, 1985.

CHRISTENSEN, B. T. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 4, p. 429-435, 1987.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 97-165.

COMIRAN, F. et al. Temperatura e fluxo de calor no solo cultivado com soja em semeadura direta e convencional. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, 13., 2004, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 174.

COMIRAN, F.; BERGAMASCHI, H. **Balanço hídrico calculado para a cultura do milho irrigado e não irrigado em oito anos de experimento**. Porto Alegre, UFRGS, 20 set. 2004. Comunicação informal.

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. p. 85-97.

DALAL, R. C.; CHAN, K. Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 39, n. 3, p. 435-464, 2001.

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, n. 2, p. 281-292, 1986a.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV Loss of organic carbon from different density fractions. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 24, n. 2, p. 301-309, 1986b.

DALMAGO, G. A. et al. Soil temperature in maize crops as function of soil tillage systems. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 13., 2004, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: ASSSI/ IECA, 2004. 1 CD-ROM.

DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, 2004. No prelo.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 77-92, 2001.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – From myth to complex reality. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Eds.) **Myths and science of soils of the tropics**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1992. p. 17-33. (SSSA Special Publication, 29)

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H.; MONREAL, C. M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ¹³C abundance. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 2, p. 161-167, 1995.

HARMAN, W. L. et al. Water conservation and economic impacts when integrating irrigation with no-tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 53, n. 4, p. 341-347, 1998.

HANKS, R. J. et al. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

HARTEL, P. G. The soil habitat. In: SYLVIA, D. M. et al. (Eds.) **Principles and applications of soil microbiology**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. p. 21-42.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v.15, n. 11, p. 17-29, 1945.

JANSSEN, B. H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, n. 1, p. 39-45, 1996.

JANZEN, H. H. et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, 1992.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R. et al. (Eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 207-223.

LAL, R. et al. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 374-389, 1999.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 981-990, 2004.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51. (Special Publication, 35)

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOVATO, T. et al. Soil organic matter dynamics coefficients and simulation of organic carbon stocks in long-term experiment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2005. Submetido.

LUEKING, M. A.; SCHEPERS, J. S. Changes in soil carbon and nitrogen due to irrigation development in Nebraska's Sandhill soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 3, p. 626-630, 1985.

MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, Hagerstown, v. 142, n. 2, p. 279-288, 1986.

MARTORANO, L.; BERGAMASCHI, H. **Análise química atual do solo da área experimental**. Porto Alegre, UFRGS, 10 jun. 2004a. Comunicação informal.

MARTORANO, L.; BERGAMASCHI, H. **Variáveis meteorológicas observadas durante o ciclo da soja na safra 2003/04**. Porto Alegre, UFRGS, 15 jul. 2004b. Comunicação informal.

MERTEN, G.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 369-374, 1991.

MELLO, O. de Levantamento em série dos solos do centro agrônomo. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS**, Porto Alegre, v. 8, n. 1-4, p. 7-155, 1966.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 209-248.

MITTMANN, L. M. Irrigação: escolha o método ideal ou amargue o prejuízo. **Revista A Granja**, Porto Alegre, n. 671, p. 24-29, Nov. 2004.

MÜLLER, A. G. **Modelagem da matéria seca e do rendimento de grãos de milho em relação à disponibilidade hídrica**. 2001. 119 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

OADES, J. M. et al. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 69-95.

ONU. **World population in 2300**. New York: ESA, Dec. 2003. (ESA/P/WP. 187)

ORCHARD, V. A.; COOK, F. J. Relationship between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 447-453, 1983.

PARTON, W. J. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 5, p. 1173-1179, 1987.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W. J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 2, p. 476-488, 1992.

REICOSKY, D. C. et al. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 3, p. 253-261, 1995.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 31., 2003, Porto Alegre. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2003/2004**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 137 p.

ROJAS, C. A. L. **Alterações físico-hídricas de um solo podzólico em função do manejo de solo**. 1998. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 9-12, 1999.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 313-319, 1995.

SCHLESINGER, W. H. Carbon and agriculture: carbon sequestration in soils. **Science**, Washington, v. 284, n. 5423, p. 2095, June 1999.

SCHLESINGER, W. H. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 82, n. 1-3, p. 121-127, 2000.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 181-184, 1986.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1367-1377, 1998.

SIX, J. et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. **Agronomie**, Paris, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, 2002.

SKJEMSTAD, J. O.; DALAL, R. C.; BARRON, P. F. Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 2, p. 354-359, 1986.

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

SPYCHER, G.; SOLLINS, P.; ROSE, S. Carbon and nitrogen in the light fractions of a forest soil: vertical distribution and seasonal patterns. **Soil Science**, Hagerstown, v. 135, n. 2, p. 79-87, 1983.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174p.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 918-926, 2000.

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

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Índices de labilidade da matéria orgânica e de manejo de carbono em solo sob plantio direto em diferentes sistemas de cultura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 4, n. 2, p. 242-246, 1961.

WALLACE, J. S. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 82, n. 1-3, p. 105-119, 2000.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 91, n. 1-3, p. 217-232, 2002.

WHITBREAD, A. M.; LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J. Changes in soil physical properties and soil organic carbon fractions with cropping on a red brown earth soil. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 8., 1996, Toowoomba. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/asa/1996/contributed/582whitbread.htm>> Acesso em: 29 dez. 2004.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Washington, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

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

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Descrição morfológica do perfil do solo do experimento (Rojas, 1998).

- Ap** 0-10 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco; moderada a fraca pequena granular, moderada/fraca pequena/média blocos subangulares; solta a macia, muito friável, plástico a ligeiramente plástico e pegajoso a ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A** 10-21/25 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco; moderada a fraca média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.
- BA** 21/25-41/44 cm, bruno (7,5YR 4/2, úmido); franco; moderada a fraca média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt₁** 41/44-58/60 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmido); franco argiloso; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada gradual.
- Bt₂** 58/60-87 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); franco argiloso; moderada pequena a média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bt₃** 87-110+ cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); argiloso com cascalho; moderada a forte média blocos subangulares; cerosidade comum fraca; duro, firme ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes Muitas no Ap, comuns no A e BA, poucas no Bt₁, Bt₂ e Bt₃.

Observações – Trincheira de 110 cm de profundidade.

APÊNDICE 2. Distribuição das partículas primárias no perfil do solo da área experimental em nove profundidades (adaptado de Rojas, 1998). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade	Distribuição das partículas primárias do solo							Silte	Argila	Classe Textural
	Areia						Total			
	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina					
----- m -----	----- kg kg ⁻¹ -----									
0,03-0,06	0,027	0,121	0,154	0,169	0,073	0,544	0,277	0,180	Franco arenoso	
0,08-0,11	0,030	0,132	0,157	0,159	0,072	0,549	0,272	0,180	Franco arenoso	
0,18-0,21	0,028	0,128	0,152	0,158	0,073	0,537	0,266	0,197	Franco arenoso	
0,28-0,31	0,037	0,123	0,131	0,141	0,068	0,498	0,264	0,238	Franco argilo arenoso	
0,38-0,41	0,055	0,111	0,117	0,138	0,066	0,485	0,249	0,265	Franco argilo arenoso	
0,48-0,51	0,058	0,097	0,105	0,135	0,067	0,461	0,239	0,300	Franco argilo arenoso	
0,68-0,71	0,085	0,063	0,072	0,109	0,062	0,392	0,246	0,363	Franco argiloso	
0,88-0,91	0,074	0,051	0,058	0,092	0,055	0,329	0,210	0,461	Argiloso	
1,08-1,11	0,058	0,052	0,055	0,087	0,054	0,305	0,195	0,500	Argiloso	

APÊNDICE 3. Análise química e mineralógica do solo do experimento antes da implantação da cultura da soja (outubro de 2003).
EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004a – comunicação informal)

Trat.	Prof.	Mn	Fe	Zn	Cu	Composição granulométrica terra fina				Argila Dispersa em H ₂ O	Grau de Floculação	Silte/Argila	P assim.
						Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				
	-- m --	----- mg dm ⁻³ -----				----- g kg ⁻¹ -----				---- % ----		mg kg ⁻¹	
PC	0,0-0,1	70,96	30,02	1,50	1,14	356,0	163,6	298,8	181,6	137,2	24,6	1,646	12,4
N-Irrig.	0,1-0,2	63,14	31,62	1,80	1,21	361,2	168,8	290,0	182,0	142,0	22,0	1,594	27,4
PC	0,0-0,1	76,72	31,46	1,40	1,23	363,4	166,6	288,4	181,6	141,2	22,4	1,586	23,2
Irrig.	0,1-0,2	65,84	25,76	1,22	1,30	357,4	167,2	293,4	182,0	141,6	22,4	1,612	10,0
PD	0,0-0,1	53,88	32,76	1,60	0,78	398,6	188,0	288,6	124,8	72,6	42,2	2,324	59,8
N-Irrig.	0,1-0,2	35,58	19,40	0,66	0,91	399,8	192,0	271,2	137,0	92,8	32,4	2,004	33,2
PD	0,0-0,1	79,30	33,24	1,76	1,16	349,6	164,8	328,0	157,6	105,2	32,0	2,112	35,4
Irrig.	0,1-0,2	47,32	17,86	0,90	1,21	342,4	158,6	333,2	165,8	121,2	26,6	2,064	21,6

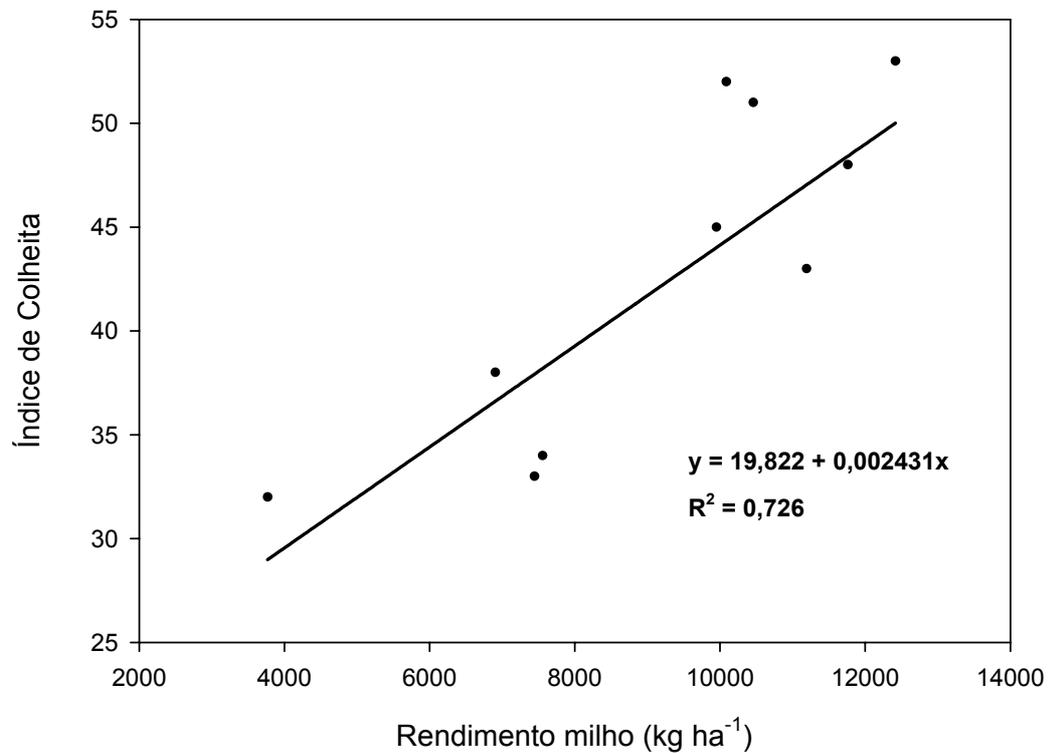
Trat.	Prof.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo							Valor V	100Al ³⁺ / S + Al ³⁺	
		H ₂ O	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺	H ⁺			Valor T
	-- m --	----- cmol _c kg ⁻¹ -----							----- % -----				
PC	0,0-0,1	4,88	3,92	1,20	0,76	0,540	0,024	2,52	0,52	4,02	7,06	35,6	17,6
N-Irrig.	0,1-0,2	5,06	4,06	1,72	0,76	0,280	0,032	2,80	0,36	3,82	6,98	39,8	12,2
PC	0,0-0,1	5,02	4,08	1,50	0,86	0,462	0,030	2,84	0,30	3,68	6,82	41,6	10,0
Irrig.	0,1-0,2	5,36	4,30	1,84	0,90	0,282	0,028	3,06	0,20	3,18	6,44	47,4	6,4
PD	0,0-0,1	4,90	4,02	1,22	0,76	0,408	0,020	2,40	0,34	3,64	6,38	37,8	12,8
N-Irrig.	0,1-0,2	5,24	4,18	1,22	0,70	0,276	0,016	2,22	0,28	2,50	5,00	44,0	12,4
PD	0,0-0,1	4,84	4,10	1,64	1,00	0,366	0,020	3,04	0,44	4,14	7,62	40,8	13,6
Irrig.	0,1-0,2	5,22	4,36	1,86	1,06	0,226	0,024	3,16	0,54	3,20	6,09	47,0	18,8

APÊNDICE 4. Rendimento de grãos, produção de massa seca e adição de carbono pelas culturas do milho e cobertura de inverno (aveia + ervilhaca) na média dos dois sistemas de preparo de solo (PC e PD) em oito anos de experimento (1995-2003). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004. (Fonte: Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)

Ano	Culturas de inverno (aveia + ervilhaca)			Milho									Total anual	
				Não irrigado						Irigado			Não irrigado	Irigado
	Parte aérea		Raízes ³	Rend. Grãos	Parte aérea		Raízes ³	Rend. Grãos	Parte aérea		Raízes ³	C	C	
	MS ¹	C ²	C		MS ⁴	C ²	C		MS ⁴	C ²	C			
	----- Mg ha ⁻¹ -----													
1995	7,0	2,8	0,84	7,6	14,7	5,9	1,8	11,2	14,8	5,9	1,8	11,3	11,3	
1996	7,0	2,8	0,84	3,8	8,0	3,2	1,0	10,0	12,2	4,9	1,5	7,8	10,0	
1997	7,0	2,8	0,84	10,1	9,3	3,7	1,1	10,5	10,0	4,0	1,2	8,4	8,8	
1998	7,0	2,8	0,84	8,5	6,4	2,6	0,8	12,4	11,0	4,4	1,3	7,0	9,3	
1999	7,0	2,8	0,84	2,2	6,6	2,7	0,8	9,0	12,6	5,0	1,5	7,1	10,1	
2000	7,0	2,8	0,84	8,8	12,5	5,0	1,5	9,7	12,6	5,1	1,5	10,1	10,2	
2001	7,0	2,8	0,84	6,0	11,4	4,6	1,4	9,6	12,6	5,1	1,5	9,6	10,2	
2002	7,0	2,8	0,84	1,5	4,8	1,9	0,6	9,6	12,6	5,1	1,5	6,1	10,2	
Média	7,0	2,8	0,84	6,1	9,2	3,7	1,1	10,2	12,3	4,9	1,5	8,4	10,0	

¹Adição média no período experimental; ²%C na massa seca = 40%; ³30% da adição de C da parte aérea; ⁴Massa seca calculada a partir dos índices de colheita (IC) e rendimento de grãos, onde os IC foram determinados a campo na ocasião da colheita nos anos de 1995 a 1998, sendo que para os demais anos os mesmos foram estimados pela equação de regressão $y = 19,822 + 0,002431x$ (x = rendimento de grãos). Equação resultante da análise de regressão dos dados de rendimentos de grãos de milho e IC de safras antecedentes obtidas na área experimental e em área adjacente (Apêndice 5).

APÊNDICE 5. Equação de regressão linear utilizada nas estimativas do índice de colheita da cultura do milho para as safras agrícolas 99/00, 00/01, 01/02 e 02/03, sendo obtida dos dados referentes às safras antecedentes. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004. (Fonte: Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



Análise da Variância					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão Linear	1	0,2518	0,2518	21,2954	0,0017
Resíduo	8	0,0946	0,0118		
Total	9	0,3463	0,0385		

APÊNDICE 6. Radiação solar (Rs), temperatura do ar (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar (UR), vento a dois metros do solo, evaporação do tanque classe A (Eo), evapotranspiração potencial (ETo), precipitação pluviométrica (Prec.) e lâmina de água irrigada (Irrig.) observadas no período experimental transcorrido entre novembro/03 a abril/04. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/2004. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004b – comunicação informal)

Mês	Dia	Rs (cal.cm ² .dia ⁻¹)	Temp. do ar (°C)			UR (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Eo (mm)	ETo (mm)	Prec. (mm)	Irrig. (mm)
			Média	Máx.	Mín.						
NOVEMBRO/03	20	695	18,3	24,3	12,6	65,3	2,2	7,7	6,3	0,0	-
	21	690	18,2	27,4	8,2	71,6	2,1	4,4	6,0	0,0	-
	22	651	22,4	32,6	13,2	68,9	0,9	5,9	5,8	0,0	-
	23	652	25,0	34,8	15,4	69,5	1,0	-	6,1	53,9	-
	24	250	21,9	25,4	19,6	87,1	2,8	2,9	2,4	8,3	-
	25	294	21,9	26,1	19,3	87,6	1,9	4,3	2,6	0,0	-
	26	543	24,4	30,8	19,2	83,5	1,7	5,5	4,9	1,0	-
	27	457	24,5	30,1	19,0	77,2	1,6	5,5	4,4	0,0	-
	28	681	22,5	30,0	15,6	66,9	0,9	5,6	6,1	0,0	-
	29	712	23,8	32,0	14,9	64,6	2,0	7,9	7,0	0,0	-
30	639	23,3	30,7	13,3	62,9	1,8	-	6,3	0,0	-	
DEZEMBRO/03	01	490	23,3	30,1	18,3	75,3	2,0	6,3	4,7	0,0	-
	02	654	23,4	30,1	17,7	70,4	1,8	8,6	6,2	0,0	-
	03	354	22,8	28,3	18,1	71,7	1,9	4,3	3,6	0,0	-
	04	292	22,2	25,1	20,4	89,5	3,2	3,0	2,7	25,7	-
	05	692	23,8	29,3	16,3	66,5	2,7	8,4	7,0	0,0	-
	06	750	18,3	25,7	9,8	66,5	1,3	8,3	6,4	0,0	-
	07	739	20,7	29,6	9,7	63,9	1,6	7,9	6,7	0,0	-
	08	372	20,5	28,2	13,6	71,8	2,5	-	3,8	37,6	-
	09	692	18,6	22,9	10,9	69,9	3,7	5,7	6,6	0,0	-
	10	743	19,1	28,4	8,3	64,4	1,6	6,8	6,6	0,0	-
	11	35	19,0	23,0	16,6	97,3	1,2	-	0,1	60,3	-
	12	534	20,0	24,4	15,8	73,9	2,3	5,4	4,9	0,0	-
	13	326	19,1	23,4	12,2	85,9	2,0	3,6	2,8	0,0	-
	14	387	22,3	27,2	17,7	85,5	1,7	-	3,4	38,2	-
	15	86	20,7	22,1	19,3	99,9	1,5	-	0,5	22,1	-
	16	379	19,3	22,7	11,5	74,3	2,4	5,8	3,7	0,0	-
	17	761	16,8	23,8	8,3	61,4	2,1	7,3	6,7	0,0	-
	18	728	21,2	27,7	14,1	74,7	3,0	6,8	6,8	0,0	-
	19	629	23,3	29,5	15,4	76,9	1,6	7,2	5,7	0,0	-
	20	165	22,3	26,6	20,4	86,7	1,4	2,0	1,5	14,1	-
	21	609	24,0	30,4	19,5	80,8	1,0	6,6	5,4	5,1	-
	22	310	22,2	25,9	19,5	90,1	1,9	3,8	2,7	0,0	-
	23	606	19,5	24,9	12,7	72,2	2,1	7,7	5,5	0,0	-
	24	640	20,6	25,9	13,3	79,8	3,7	6,3	6,0	0,0	-
	25	592	22,1	27,0	18,5	75,4	3,0	8,1	5,7	0,0	-
	26	712	22,5	29,0	16,3	73,5	2,9	8,3	6,8	0,0	-
	27	696	24,3	31,1	16,8	72,8	2,2	7,2	6,7	0,0	-
	28	506	25,5	31,3	19,9	80,9	2,4	7,9	4,9	0,0	-
	29	517	19,9	24,4	16,5	70,9	2,8	6,2	5,0	0,0	-
	30	515	22,1	29,6	14,7	82,8	1,3	4,4	4,5	0,0	-
	31	633	21,8	30,4	11,8	74,6	2,3	-	5,9	0,0	-
	01	691	17,1	24,5	9,5	71,5	1,7	5,7	5,8	0,0	-
	02	731	19,2	26,0	11,7	67,9	2,3	9,6	6,6	0,0	-
	03	722	21,4	29,2	12,3	68,7	2,7	7,5	6,9	0,0	-
	04	720	22,9	30,0	15,3	71,2	1,9	8,0	6,7	0,0	-
	05	695	24,5	33,0	15,5	68,1	1,4	7,8	6,6	0,0	-

Continua...

Continuação do Apêndice 6.

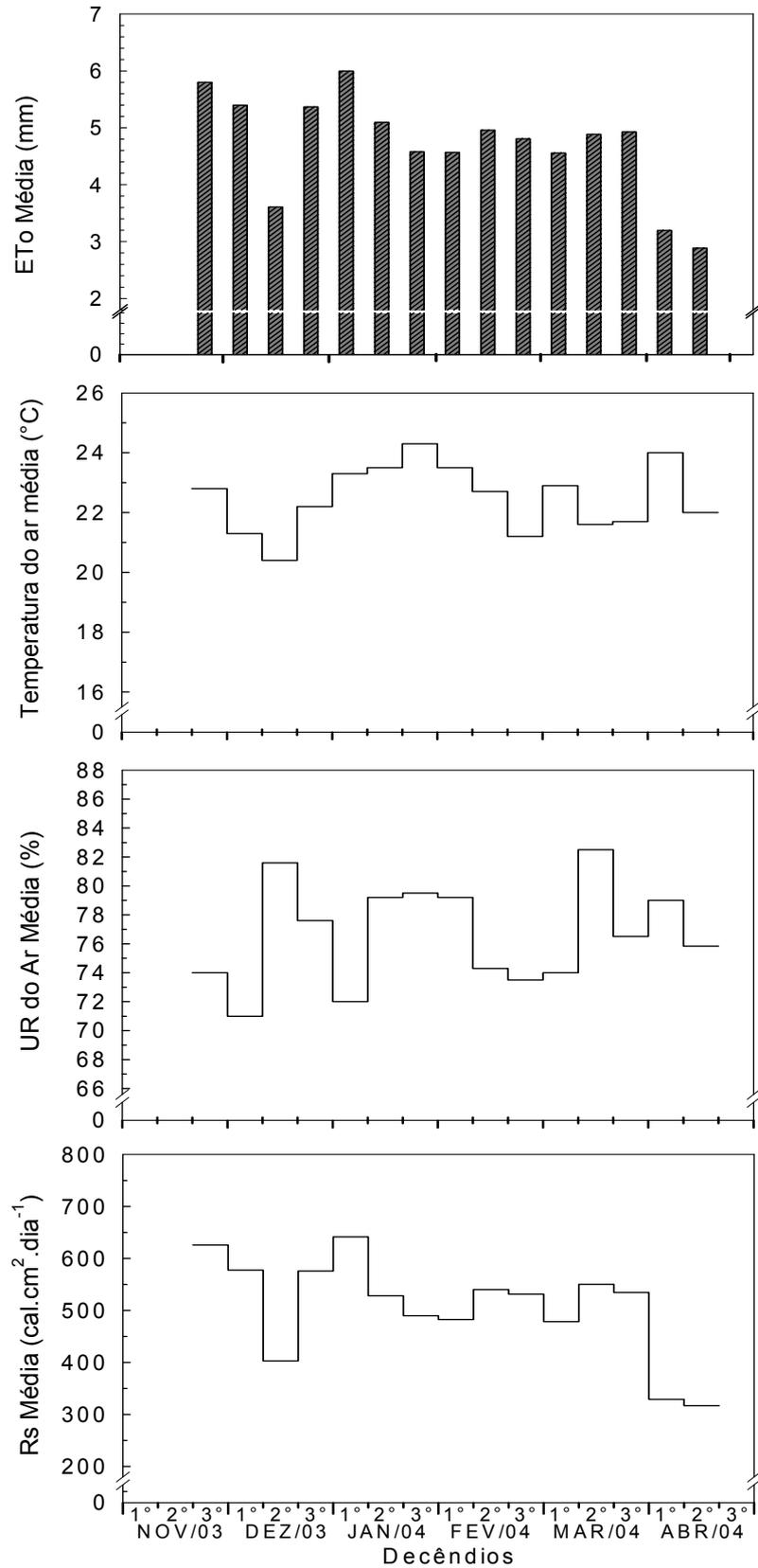
JANEIRO/04	06	693	25,5	34,3	16,3	69,3	1,3	8,2	6,6	0,0	16,5	
	07	662	26,1	34,7	18,6	70,6	1,5	8,8	6,4	0,0	-	
	08	503	25,5	32,6	20,2	74,7	1,9	6,9	5,0	0,0	-	
	09	492	25,0	32,3	20,6	77,3	1,7	4,6	4,7	1,0	23,1	
	10	506	25,4	31,1	20,4	80,9	2,1	6,7	4,8	0,0	-	
	11	490	23,2	29,1	19,9	83,4	1,4	7,6	4,3	34,0	-	
	12	530	23,0	27,6	18,5	81,1	3,4	12,0	5,1	0,0	-	
	13	624	23,3	27,4	19,8	83,1	3,8	7,6	5,9	0,0	-	
	14	427	23,3	28,5	19,1	80,4	2,1	5,3	4,0	0,0	-	
	15	616	23,4	31,5	17,5	75,3	1,4	6,5	5,6	6,7	-	
	16	545	23,5	28,3	20,0	80,1	3,3	7,5	5,3	0,0	-	
	17	692	23,7	28,9	17,8	77,4	3,2	8,4	6,7	0,0	-	
	18	520	23,9	28,8	19,5	80,0	3,1	6,7	5,1	0,0	-	
	19	346	23,3	27,3	20,7	81,7	2,6	1,8	3,4	1,3	-	
	20	493	24,7	30,8	21,1	69,6	2,9	8,7	5,4	9,0	-	
	21	297	22,4	26,6	20,3	87,3	1,5	0,3	2,6	9,6	-	
	22	419	23,9	29,4	19,8	84,0	1,9	6,7	3,9	0,0	-	
	23	558	25,4	30,5	21,7	81,3	3,5	7,0	5,6	0,0	-	
	24	379	24,2	30,7	20,1	82,0	1,4	4,8	3,5	0,6	-	
	25	493	23,5	29,9	17,4	79,6	1,1	4,1	4,4	0,0	-	
	26	542	23,9	30,4	18,5	73,6	1,5	6,9	5,1	0,0	-	
	27	398	22,9	28,3	16,9	81,8	1,2	4,0	3,6	0,0	-	
	28	584	24,9	33,2	18,2	77,2	1,2	6,4	5,4	0,0	-	
	29	481	24,7	34,3	19,4	76,6	1,3	5,2	4,5	0,0	-	
	30	632	26,3	33,6	23,0	70,0	1,5	7,3	6,2	0,0	-	
	31	604	25,8	32,2	19,2	80,8	2,1	9,8	5,7	0,0	20,0	
	FEVEREIRO/04	01	449	25,1	32,1	20,5	81,2	1,5	5,3	4,2	10,6	-
		02	455	25,7	33,1	21,6	67,4	1,5	7,8	4,7	0,0	2,2
		03	519	24,3	30,7	20,3	83,5	2,3	6,6	4,8	39,2	-
		04	209	23,7	27,4	21,2	93,1	0,9	0,5	1,7	2,6	-
		05	310	23,8	27,9	18,7	86,1	1,5	4,1	2,8	0,3	-
06		607	22,1	27,2	16,8	70,3	2,1	8,4	5,8	0,0	-	
07		372	21,0	26,6	16,2	80,6	1,9	3,8	3,4	3,2	-	
08		615	22,8	27,6	18,4	76,0	3,5	6,9	6,1	0,0	-	
09		646	23,2	28,2	16,9	75,3	2,8	9,2	6,3	0,0	-	
10		646	23,2	29,4	15,8	78,4	2,2	6,5	6,0	0,0	-	
11		657	24,2	30,7	17,7	76,0	1,6	8,4	6,1	0,0	18,6	
12		667	24,5	31,7	17,4	71,2	1,7	8,1	6,4	0,0	-	
13		480	24,8	32,2	17,9	76,2	1,1	8,2	4,5	26,6	-	
14		178	21,4	27,4	18,5	87,6	1,2	10,7	1,5	54,9	-	
15		578	21,3	26,8	15,9	71,9	1,6	6,6	5,3	0,0	-	
16		642	21,3	29,5	13,5	71,7	1,0	5,7	5,6	0,0	-	
17		519	23,3	31,2	15,7	76,4	1,1	7,6	4,7	0,0	-	
18		623	23,9	30,3	17,7	67,1	1,5	9,0	6,0	0,0	-	
19		515	21,8	28,4	16,8	74,5	1,4	6,8	4,7	0,0	-	
20		543	20,2	26,9	15,0	70,3	1,5	7,3	4,9	0,0	-	
21		614	19,4	26,9	11,6	71,3	1,3	6,9	5,3	0,0	-	
22		482	19,9	27,1	13,0	74,6	1,1	5,0	4,2	0,0	-	
23		471	20,4	27,7	14,1	73,2	1,1	4,8	4,2	0,0	-	
24		561	20,3	27,9	13,7	71,7	1,6	8,0	5,0	0,0	15,7	
25		584	21,6	28,7	13,5	77,5	2,6	6,6	5,4	0,0	-	
26		573	24,2	33,0	17,0	75,0	1,2	7,9	5,3	0,0	-	
27		518	23,2	31,1	17,4	66,8	1,3	6,9	5,0	0,0	13,7	
28		491	21,4	29,0	15,3	76,1	1,3	7,5	4,4	3,9	-	
29		489	21,0	26,9	16,4	75,3	2,0	-	4,5	0,0	-	
01	604	21,0	27,7	13,4	76,6	2,0	6,9	5,4	0,0	-		
02	449	23,4	34,2	14,7	73,8	1,9	8,5	4,4	0,0	-		
03	455	22,4	29,0	14,3	63,7	1,8	7,2	4,7	0,0	-		
04	519	19,7	27,5	10,1	71,7	2,6	8,8	5,0	0,0	-		
05	209	22,6	30,0	14,3	70,6	2,2	7,8	2,5	0,0	25,8		

Continua...

Continuação do Apêndice 6.

MARÇO/04	06	310	23,5	33,1	15,0	71,2	1,3	8,7	3,1	0,0	-	
	07	607	23,6	34,4	14,8	68,9	1,2	7,9	5,7	0,0	-	
	08	372	24,2	29,3	20,7	83,4	0,8	2,4	3,3	3,5	-	
	09	615	24,7	32,0	19,8	78,8	1,5	6,0	5,7	0,0	-	
	10	646	24,0	29,6	17,8	81,1	1,9	4,8	5,9	0,0	17,6	
	11	646	20,6	25,2	14,7	82,1	2,2	4,6	5,6	0,0	-	
	12	657	21,1	24,4	17,9	79,6	3,2	4,7	6,0	4,2	-	
	13	667	21,9	25,2	20,0	89,1	2,1	2,7	5,6	0,3	-	
	14	480	23,2	31,0	17,4	79,1	0,9	14,0	4,3	35,0	-	
	15	178	22,5	28,8	17,3	83,6	1,9	5,2	1,8	2,9	-	
	16	578	23,1	27,8	19,8	81,1	2,7	5,5	5,4	0,0	-	
	17	642	22,4	27,1	18,4	80,5	2,7	7,2	5,9	0,0	-	
	18	519	21,6	27,7	16,6	78,5	2,2	5,3	4,8	0,0	-	
	19	623	20,5	26,0	15,9	82,0	2,1	4,0	5,4	0,0	-	
	20	515	19,1	23,9	15,6	89,2	1,5	4,6	4,1	23,8	-	
	21	543	19,6	26,8	13,2	72,3	1,4	4,4	4,8	0,0	-	
	22	614	19,2	26,5	12,3	74,6	1,2	5,3	5,2	0,0	-	
	23	482	19,7	27,1	11,8	77,2	1,8	4,5	4,3	0,0	-	
	24	471	21,0	28,7	12,8	73,3	1,9	6,0	4,4	0,0	-	
	25	561	20,9	28,3	13,0	71,4	1,7	5,1	5,2	0,0	-	
	26	584	21,5	28,4	13,6	77,5	2,2	7,2	5,3	0,0	-	
	27	573	21,5	28,0	15,5	83,8	1,6	4,1	4,9	5,8	-	
	28	518	23,9	28,3	20,8	84,0	4,3	6,1	5,1	0,3	-	
	29	491	25,0	31,5	21,0	73,0	1,8	4,4	4,9	0,0	-	
	30	489	23,7	30,1	19,0	79,8	2,3	5,1	4,7	0,0	-	
	31	554	23,0	30,1	16,1	74,3	2,7	-	5,5	0,0	22,6	
	ABRIL/04	01	455	23,9	32,4	17,0	74,6	1,0	5,0	4,2	0,0	-
		02	237	22,6	28,0	17,6	85,4	0,7	2,0	2,0	0,0	-
		03	316	24,2	29,9	20,3	81,8	1,9	3,4	3,1	0,0	-
		04	271	24,3	29,6	20,6	83,8	2,5	4,2	2,7	0,0	-
		05	359	24,6	29,7	21,7	79,0	3,9	5,0	4,0	0,0	-
06		449	24,8	32,7	18,4	75,4	1,0	5,9	4,2	0,0	-	
07		399	25,2	34,9	18,0	72,3	1,0	3,9	3,9	0,0	-	
08		256	23,6	28,6	19,1	82,4	0,8	2,7	2,3	0,3	-	
09		319	23,1	29,4	19,8	80,0	2,6	5,7	3,3	0,0	-	
10		229	21,0	24,4	18,3	79,1	3,4	3,3	2,6	0,0	-	
11		270	21,6	26,8	17,2	81,2	0,6	2,7	2,3	0,0	-	
12		432	23,9	33,0	15,8	73,1	0,7	5,4	3,9	0,0	-	
13		434	24,3	33,8	17,1	70,5	0,8	5,8	4,1	0,0	14,7	
14		428	24,6	34,5	16,5	70,7	0,4	3,9	3,9	0,0	-	
15		291	23,8	33,4	17,0	73,4	1,0	4,0	2,8	0,0	-	
16		352	24,1	33,3	17,6	73,2	0,5	3,9	3,2	0,0	-	
17		135	22,3	25,4	20,5	87,1	1,2	3,5	1,2	0,0	-	
18		132	21,3	23,6	19,7	86,0	2,6	6,0	1,4	37,9	-	
19		261	20,6	26,9	12,4	77,7	1,9	4,1	2,6	0,0	-	
20		439	14,5	23,0	5,4	65,5	0,8	3,7	3,5	0,0	-	

APÊNDICE 7. Representação gráfica das médias diárias da evapotranspiração potencial (ETo), temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR) e radiação solar (Rs) ocorridas durante o período experimental (novembro/03 a abril/04). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/04. (Fonte: Martorano & Bergamaschi, 2004b – comunicação informal)



APÊNDICE 8. Consumo de diesel ou energia elétrica pelo sistema de irrigação pivô central em função da área irrigada, tempo de aplicação de água e capacidade de irrigação do equipamento, e respectivo método de cálculo (Carlesso & Spohr, 2004 – comunicação informal). UFRGS, 2004.

Área ¹ (ha)	Irrigação ² (mm)	Tempo de aplicação (h)	Consumo ³	
			Diesel (L h ⁻¹)	En. Elétrica (kWh)
30	4,07	8,56	16,67	63,24
50	3,23	7,75	21,81	69,95
70	3,56	9,36	27,12	84,97
90	3,86	10,14	32,60	110,24
110	4,52	11,87	38,24	147,67
130	4,42	12,55	44,05	199,18

¹Valor referente ao tamanho do pivô central de irrigação, sendo esta a área total irrigada pelo equipamento.

²Lâmina de água irrigada pelo pivô central com a relé percentual regulada a 100% em um determinado tempo de aplicação x (3ª coluna da tabela).

³O consumo de energia inclui os gastos relacionados ao bombeamento da água de irrigação e funcionamento dos motores de movimentação do pivô central.

Cálculo para determinação do consumo de energia por área total irrigada pelo pivô central utilizando os dados da tabela acima:

$$EC_{ATI} = \frac{T_{aplic.}}{I_T} \cdot I_{CCult.} \cdot EC_{hora}$$

onde:

EC_{ATI} = total de energia consumida (diesel ou energia elétrica) para irrigar toda a área de abrangência do pivô central durante todo ciclo da cultura (L ou kWh);

$T_{aplic.}$ = tempo de aplicação (h);

I_T = lâmina de água irrigada com a relé percentual a 100% no tempo de aplicação x (mm);

$I_{CCult.}$ = lâmina de água aplicada durante todo o ciclo da cultura;

EC_{hora} = consumo de energia (diesel ou energia elétrica) por hora de funcionamento do pivô central de irrigação (L h⁻¹ ou kWh).

APÊNDICE 9. Estimativa da emissão de C devido ao consumo de diesel ou energia elétrica pelo equipamento de irrigação pivô central irrigando a cultura do milho durante o verão. UFRGS, 2004.

Ano	Suplemento hídrico ¹	Emissão de C ²	
		Diesel	Energia Elétrica
	----- mm -----	----- Mg CE ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----	
1995	232,7	0,188	0,062
1996	213,4	0,172	0,057
1997	41	0,033	0,011
1998	209	0,169	0,056
1999	400,8	0,323	0,107
2000	135	0,109	0,036
2001	154,4	0,125	0,041
2002	170,3	0,137	0,045
Média	194,6	0,157	0,052
Acumulado (Mg ha ⁻¹)	-	1,256	0,415

¹Suplementação hídrica realizada na cultura de verão (milho) durante os 8 anos de histórico do experimento no qual foi conduzido este estudo.

²Os dados anuais de emissão de C são valores médios estimados para o sistema pivô central em 6 diferentes dimensões (30, 50, 70, 90, 110 e 130 ha) (Apêndice 8).

APÊNDICE 10. Estimativa da emissão de C devido às operações agrícolas de lavração, gradagem e semeadura. UFRGS, 2004. (Adaptado de Lal, 2004)

Operações agrícolas	Emissão de C	
	Variação	Média ± Desvio Padrão
	----- Mg CE ha ⁻¹ -----	
Lavração	0,0134-0,0201	0,0152 ± 0,0041
Gradagem	0,0040-0,0071	0,0058 ± 0,0017
Semeadura (PC)*	0,0022-0,0039	0,0032 ± 0,0008
Semeadura (PD)*	0,0037-0,0039	0,0038 ± 0,0001

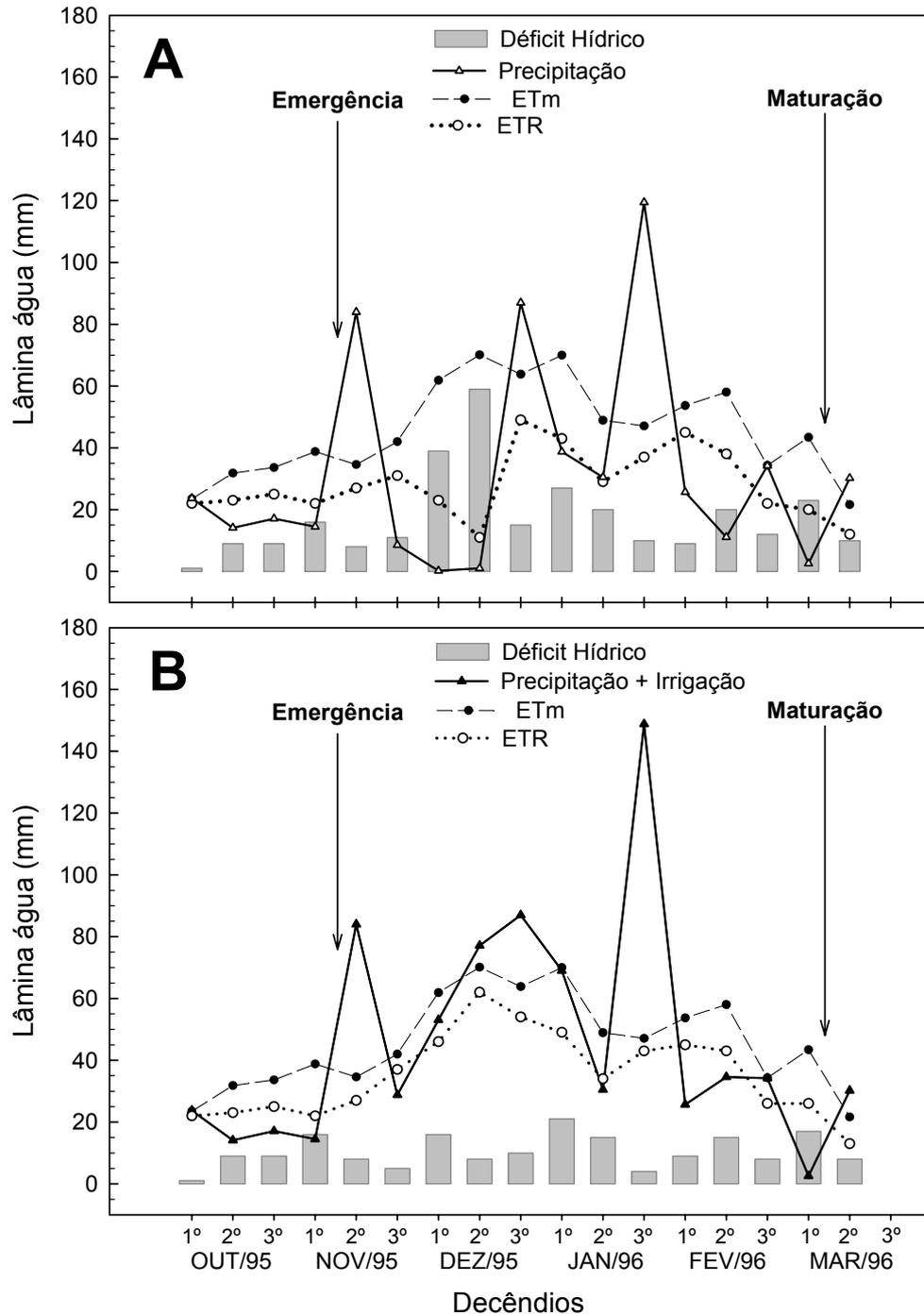
*PC = preparo convencional; PD = plantio direto.

APÊNDICE 11. Estimativa da emissão C devido as operações agrícolas realizadas nos sistemas de manejo de solo preparo convencional e plantio direto para a implantação da cultura do milho na área experimental. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1995/2003.

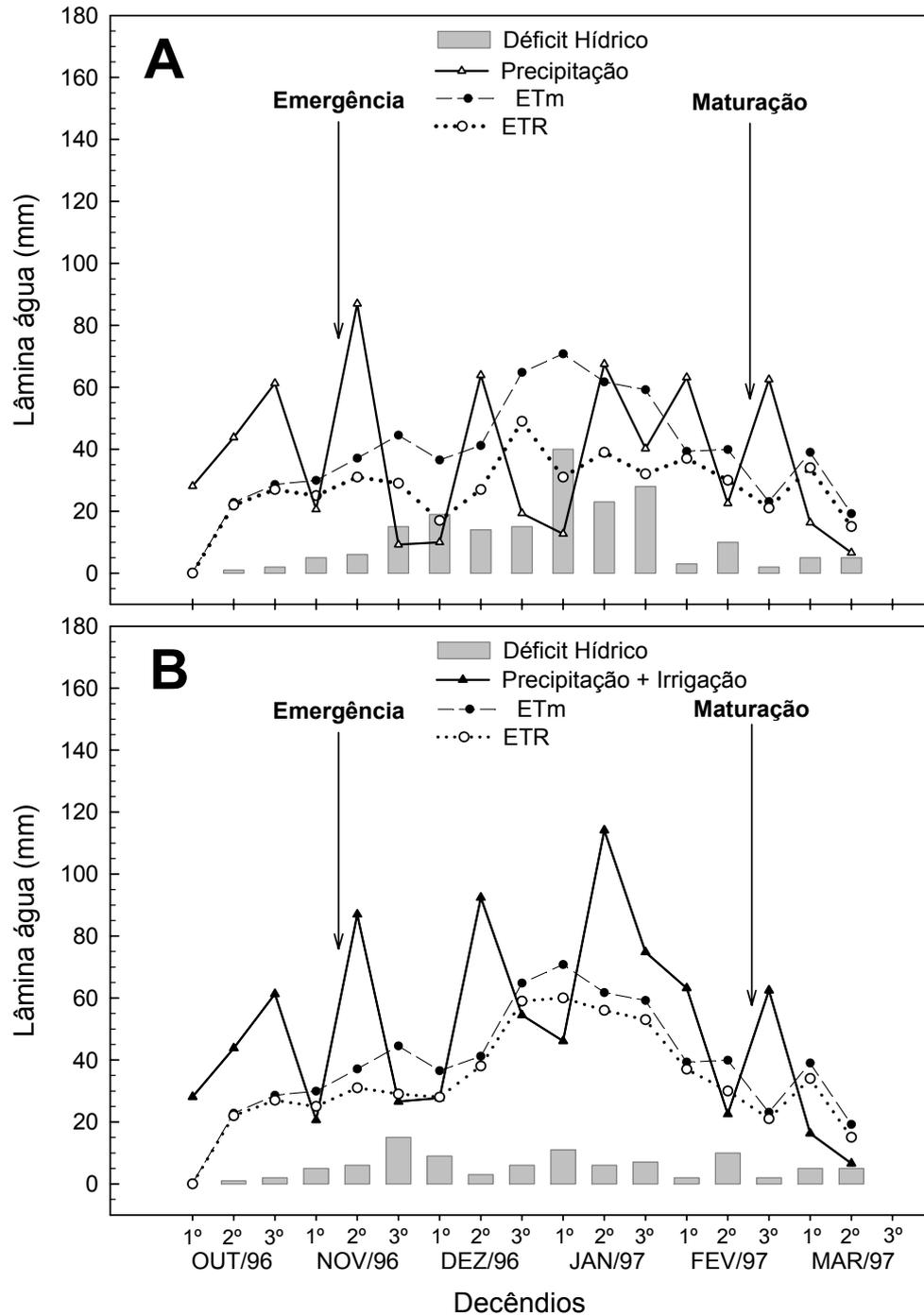
Operações agrícolas	Emissão de C	
	Preparo convencional ¹	Plantio direto
	----- Mg CE ha ⁻¹ -----	
Lavração	0,0152	-
Gradagem	0,0116	-
Semeadura	0,0032	0,0038
Total anual	0,0300	0,0038
Acumulado (8 anos)	0,2400	0,0304

¹O preparo convencional considerado consiste em uma lavração e duas gradagens antes da implantação da cultura de verão (milho).

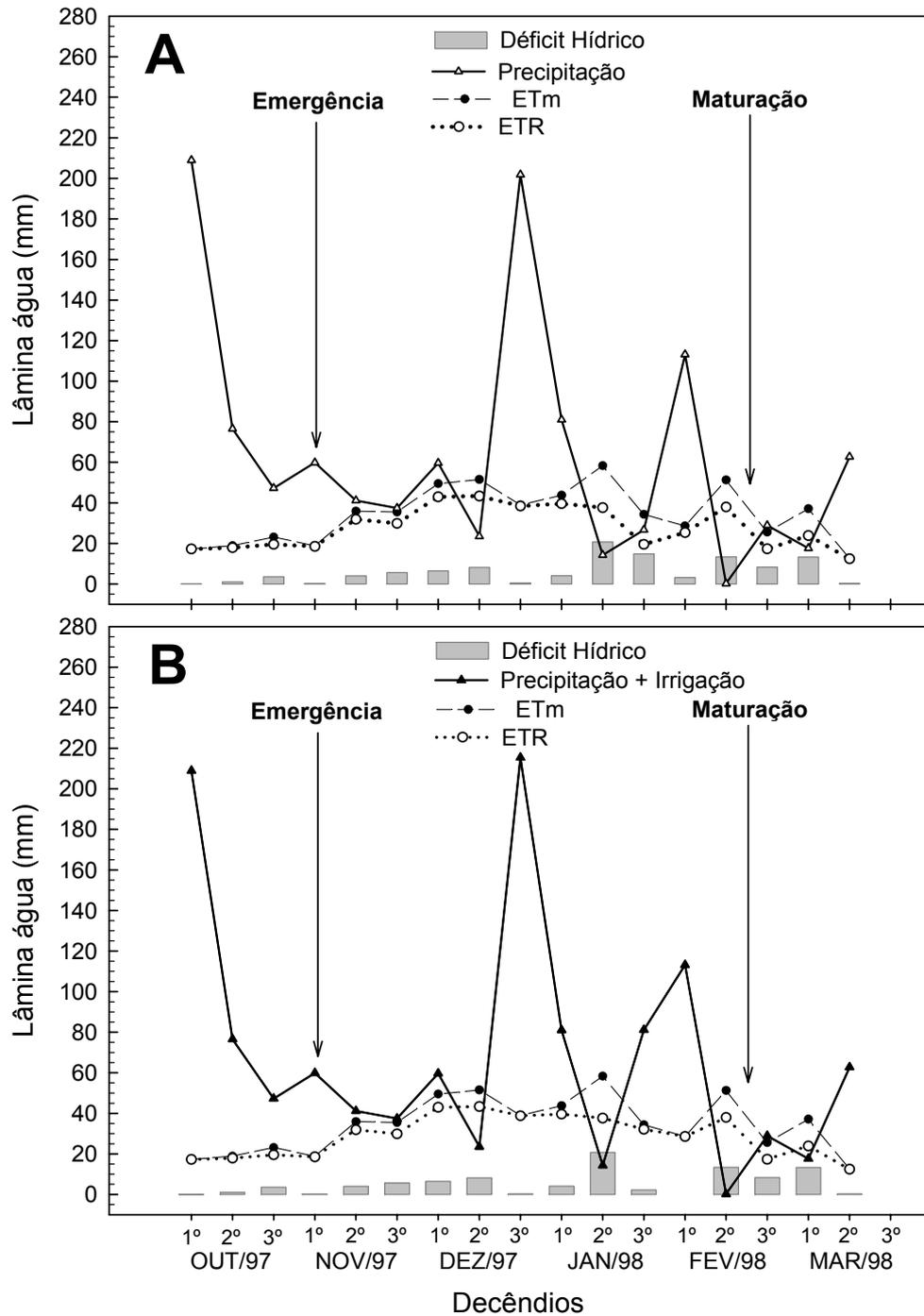
APÊNDICE 12. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1995/96. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1995/96. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



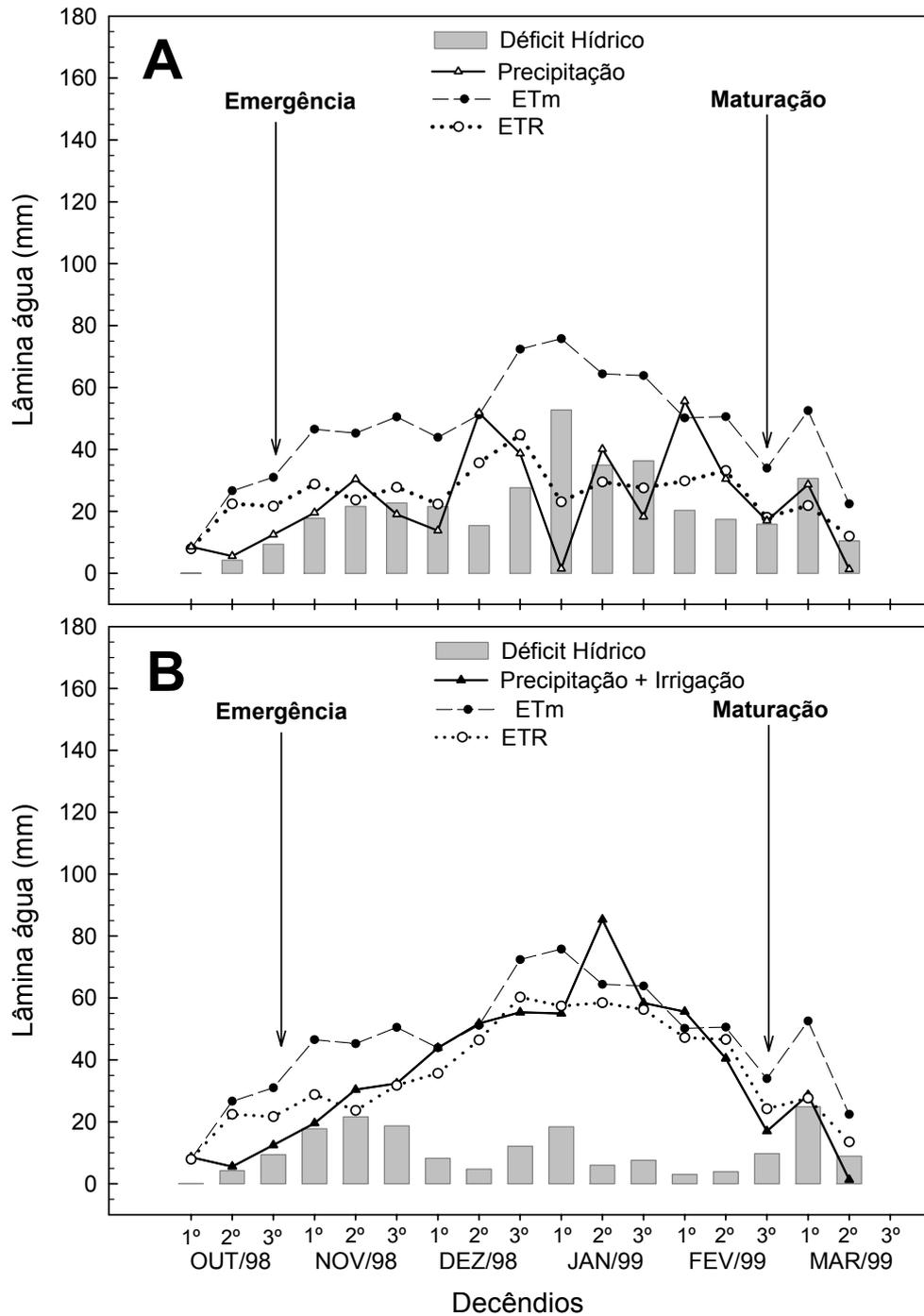
APÊNDICE 13. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1996/97. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1996/97. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



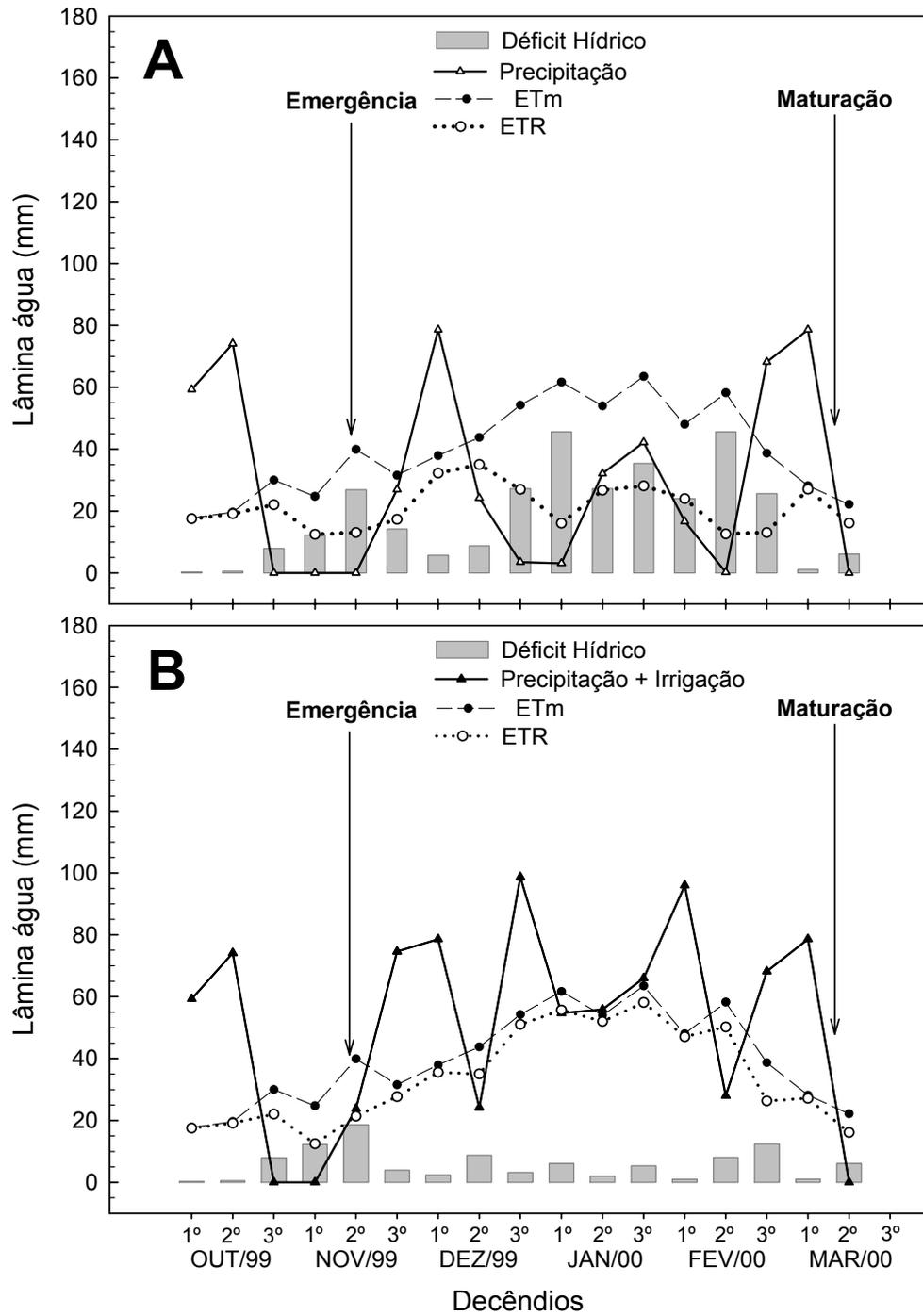
APÊNDICE 14. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1997/98. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1997/98. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



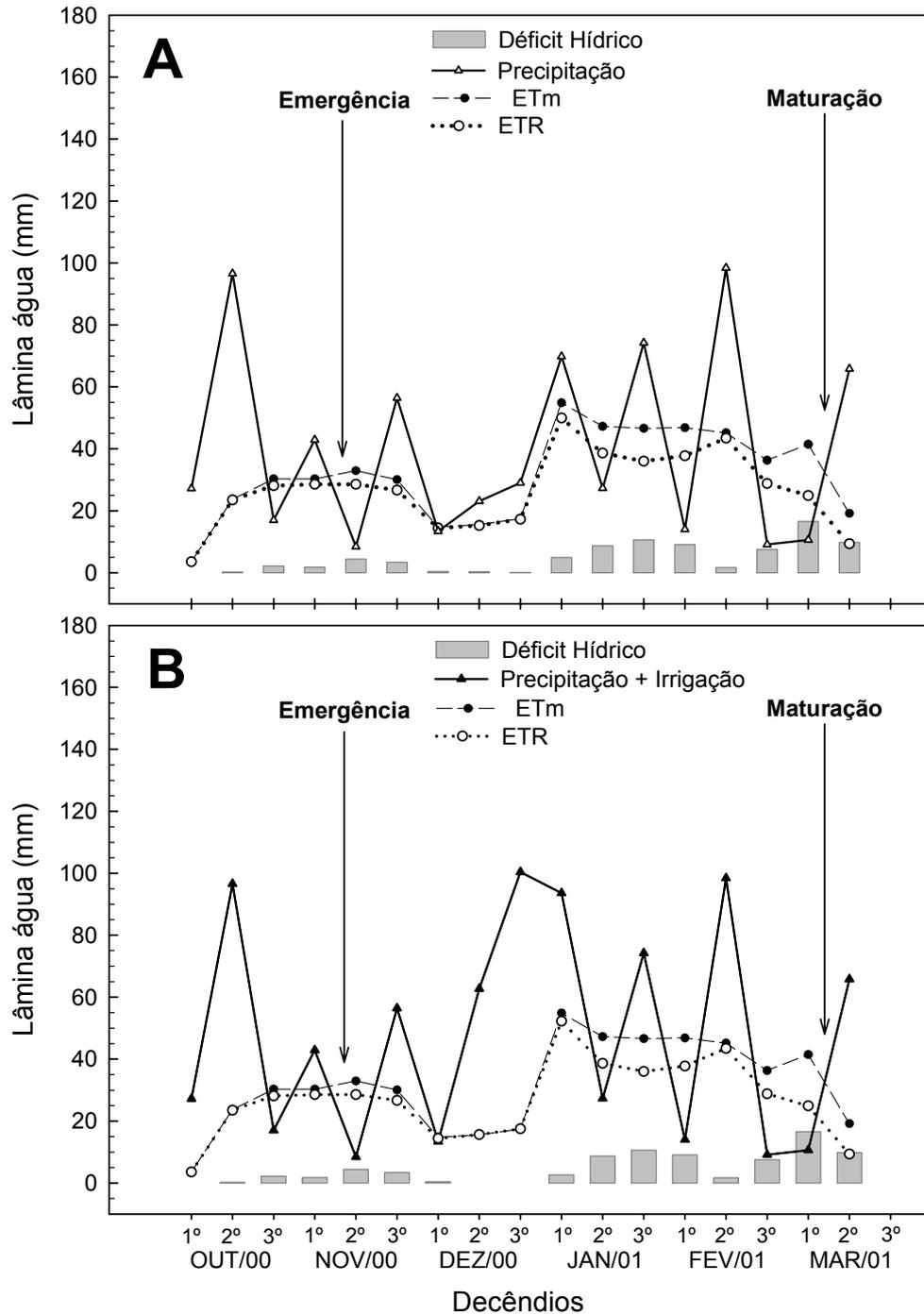
APÊNDICE 15. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1998/99. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1998/99. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



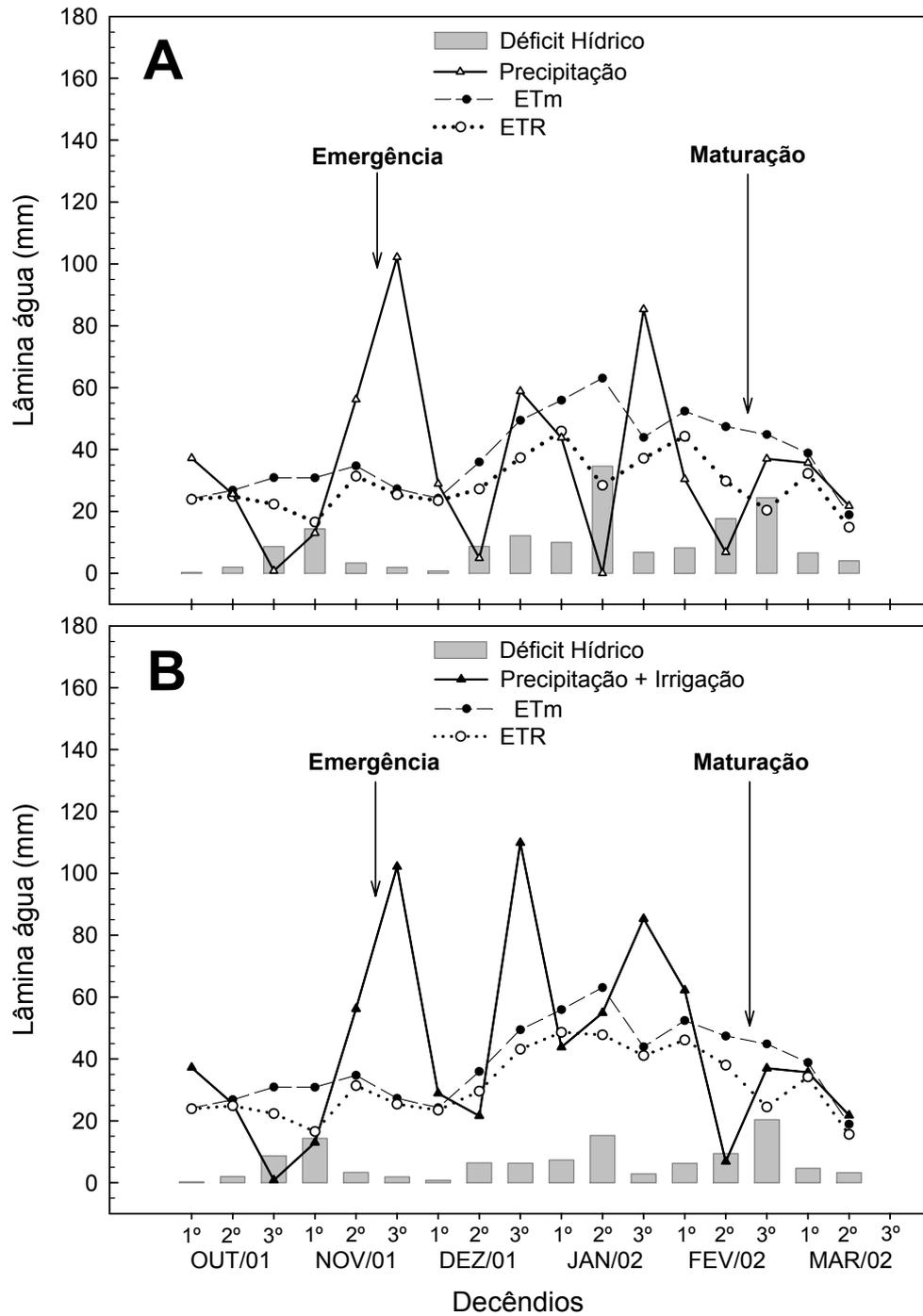
APÊNDICE 16. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 1999/00. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 1999/00. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



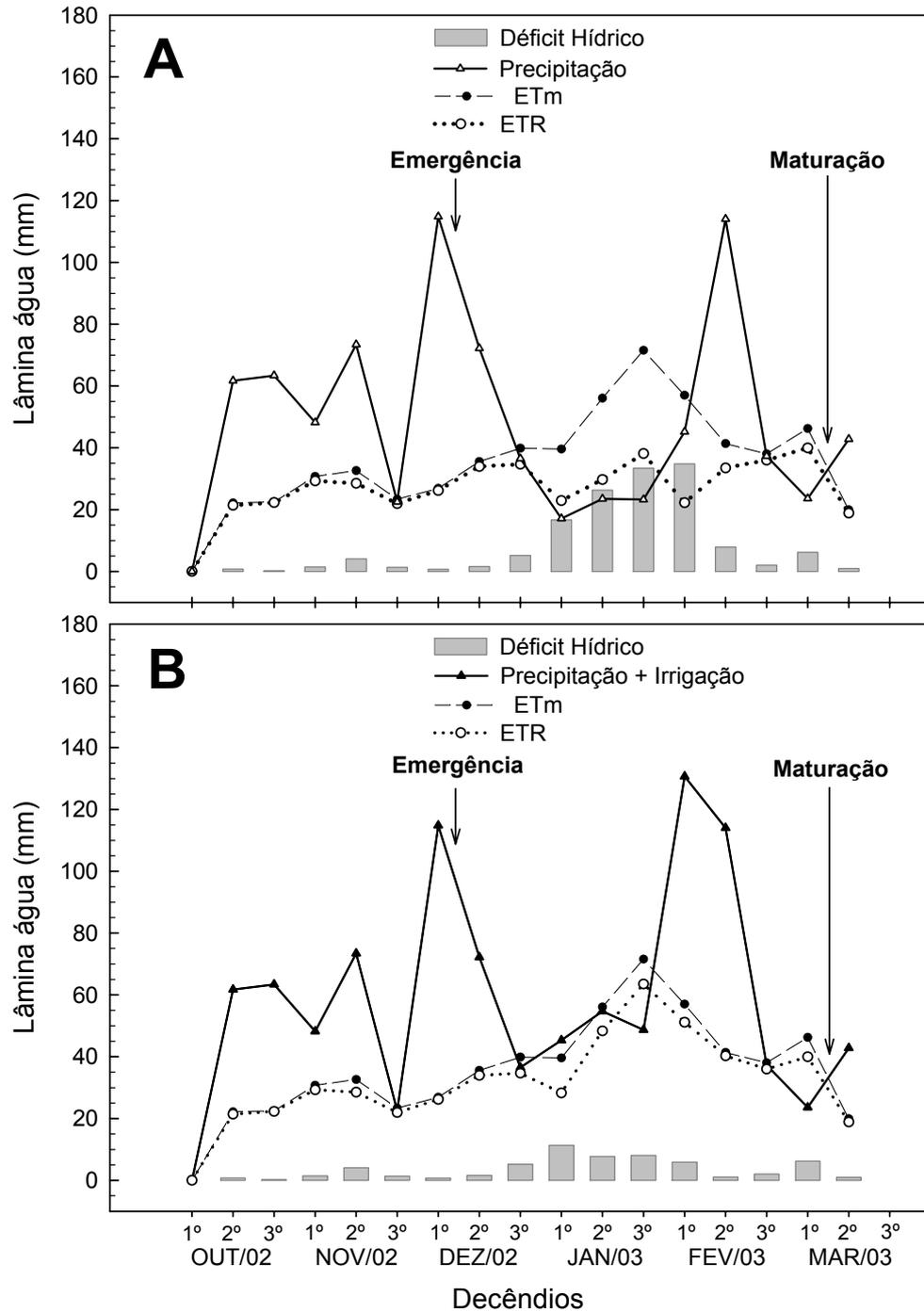
APÊNDICE 17. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2000/01. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2000/01. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



APÊNDICE 18. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2001/02. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2001/02. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



APÊNDICE 19. Balanço hídrico calculado para a cultura do milho cultivado sob condições normais de precipitação (A) e com suplementação hídrica via irrigação por aspersão (B) no ano agrícola 2002/03. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2002/03. (Fonte: Comiran & Bergamaschi, 2004 – comunicação informal)



APÊNDICE 20. Dados de massa seca, C e cinzas das amostras remanescentes nos sacos de decomposição utilizados na determinação da cinética de decomposição de resíduos vegetais *in situ* no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, incluindo as devidas correções realizadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS, 2003/04.

	Data ¹	Rep.	Amostra remanescente no saco de decomposição					Massa C proveniente do solo ^{4,5}	Massa C corrigida ⁶	Teor C remanescente do resíduo original ⁷
			Massa seca	Conc. C ²	Cinzas ³	Massa C	Massa Cinzas			
			--- g ---	----- % -----		----- mg -----		----- mg g ⁻¹ -----		
PREPARO CONVENCIONAL NÃO IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	11,26	44,26	8,72	4984,6	982,0	-	4207,6	263,0
	05/12/03	II	11,95	43,08	14,69	5147,6	1755,5	6,00	5141,6	321,4
	16/12/03	I	10,68	40,79	25,96	4356,8	2772,6	15,92	4340,9	271,3
	16/12/03	II	9,18	43,15	17,80	3959,0	1632,7	4,80	3954,2	247,1
	29/12/03	I	8,26	37,58	33,51	3104,9	2768,6	15,88	3089,0	193,1
	29/12/03	II	8,28	38,56	35,79	3193,9	2964,5	17,79	3176,1	198,5
	16/01/04	I	9,79	35,46	47,82	3471,5	4681,8	34,53	3437,0	214,8
	16/01/04	II	8,83	29,77	43,35	2627,8	3826,5	26,19	2601,6	162,6
	06/02/04	I	8,39	31,34	50,62	2627,9	4244,8	30,27	2597,6	162,3
	06/02/04	II	9,00	20,62	64,81	1856,6	5835,7	45,78	1810,8	113,2
	27/02/04	I	5,84	28,93	47,99	1690,1	2803,5	16,22	1673,9	104,6
	27/02/04	II	7,67	30,92	65,65	2372,5	5037,4	38,00	2334,5	145,9
	15/04/04	I	10,11	14,18	71,91	1434,2	7273,2	59,79	1374,4	85,9
	15/04/04	II	7,35	10,10	74,81	742,8	5501,7	42,52	700,2	43,8
Aveia + Ervilhaca	05/12/03	I	8,99	43,08	11,58	3872,5	1040,5	-	3872,5	242,0
	05/12/03	II	9,35	42,73	11,85	3993,6	1107,8	-	3993,5	249,6
	16/12/03	I	10,26	34,21	50,41	3511,3	5174,5	37,55	3473,8	217,1
	16/12/03	II	8,83	38,41	37,54	3392,8	3315,5	19,43	3373,3	210,8
	29/12/03	I	8,84	31,44	49,90	2779,6	4411,5	30,11	2749,5	171,8
	29/12/03	II	8,31	32,94	54,96	2738,3	4568,8	31,65	2706,7	169,2
	16/01/04	I	5,01	39,11	43,71	1960,6	2191,3	8,47	1952,1	122,0
	16/01/04	II	6,57	39,71	36,62	2609,0	2405,9	10,56	2598,4	162,4

Continua...

Continuação do Apêndice 20.

	06/02/04	I	10,09	15,32	69,46	1545,8	7008,6	55,43	1490,4	93,1
	06/02/04	II	8,45	15,29	63,19	1291,9	5338,8	39,15	1252,7	78,3
	27/02/04	I	6,92	23,03	67,20	1593,2	4649,1	32,43	1560,8	97,5
	27/02/04	II	7,95	22,43	68,81	1782,1	5467,0	40,40	1741,7	108,9
	15/04/04	I	6,52	32,77	52,72	2136,9	3437,6	20,62	2116,3	132,3
	15/04/04	II	6,64	19,20	65,75	1274,9	4365,7	29,67	1245,2	77,8
	05/12/03	I	10,10	37,11	28,98	3747,7	2927,1	13,88	3733,9	233,4
	05/12/03	II	9,94	37,56	39,20	3733,8	3896,4	23,33	3710,5	231,9
	16/12/03	I	8,99	32,35	57,46	2908,9	5167,1	35,72	2873,2	179,6
	16/12/03	II	9,99	27,57	58,25	2754,2	5819,1	42,07	2712,2	169,5
	29/12/03	I	8,91	40,09	14,71	3573,6	1311,3	-	3573,6	223,4
	29/12/03	II	4,52	40,36	52,79	1822,7	2384,0	8,59	1814,1	113,4
	16/01/04	I	5,72	22,34	49,65	1277,9	2840,0	13,03	1264,8	79,1
	16/01/04	II	6,42	18,62	63,67	1194,7	4085,3	25,17	1169,5	73,1
	06/02/04	I	4,40	32,83	51,99	1442,9	2284,8	7,62	1435,3	89,7
	06/02/04	II	7,67	16,02	74,75	1229,4	5736,0	41,26	1188,1	74,3
	27/02/04	I	6,63	16,73	74,15	1108,7	4913,8	33,25	1075,4	67,2
	27/02/04	II	5,19	35,02	60,71	1818,9	3153,5	16,09	1802,9	112,7
	15/04/04	I	3,35	39,80	34,27	1332,5	1147,2	-	1332,5	83,3
	15/04/04	II	5,24	17,58	72,24	920,7	3783,0	22,22	898,4	56,2
	PREPARO CONVENCIONAL IRRIGADO									
	05/12/03	I	13,15	41,54	13,85	5463,3	1822,0	6,79	5456,6	341,0
	05/12/03	II	11,32	43,67	-	4945,2	-	-	-	-
	16/12/03	I	9,91	42,34	21,88	4193,8	2167,5	10,22	4183,6	261,5
	16/12/03	II	9,64	42,88	15,19	4133,6	1464,3	3,23	4130,4	258,2
	29/12/03	I	8,62	41,61	25,10	3587,6	2164,1	10,19	3577,4	223,6
	29/12/03	II	11,86	28,29	50,75	3354,3	6017,1	48,52	3305,8	206,6
	16/01/04	I	12,68	23,39	66,08	2965,9	8378,9	72,01	2893,8	180,9
	16/01/04	II	5,77	36,60	39,06	2110,0	2251,8	11,06	2098,9	131,2
	06/02/04	I	5,79	24,68	58,44	1429,0	3383,9	22,32	1406,6	87,9
	06/02/04	II	7,06	35,86	46,46	2531,7	3280,1	21,29	2510,4	156,9

Continua...

Continuação do Apêndice 20.

	27/02/04	I	8,03	31,87	52,91	2557,9	4246,3	30,90	2527,0	157,9
	27/02/04	II	9,87	23,19	66,50	2288,4	6562,3	53,94	2234,4	139,7
	15/04/04	I	3,69	21,21	58,01	782,9	2141,1	9,96	772,9	48,3
	15/04/04	II	2,95	15,20	68,45	448,1	2018,0	8,74	439,4	27,5
	05/12/03	I	11,74	39,26	23,97	4610,3	2815,0	14,85	4595,5	287,2
	05/12/03	II	9,79	42,38	12,05	4147,3	1179,6	-	4147,3	259,2
	16/12/03	I	7,99	37,53	27,40	2999,0	2189,7	8,63	2990,4	186,9
	16/12/03	II	8,50	40,45	26,77	3438,3	2275,6	9,48	3428,8	214,3
	29/12/03	I	6,85	33,53	46,55	2298,2	3190,2	18,58	2279,6	142,5
	29/12/03	II	8,63	37,69	47,12	3253,4	4067,4	27,31	3226,1	201,6
	16/01/04	I	6,91	29,25	59,64	2021,8	4122,5	27,85	1993,9	124,6
	16/01/04	II	9,47	22,07	61,73	2090,3	5846,2	45,00	2045,2	127,8
	06/02/04	I	6,72	33,57	53,11	2255,6	3568,2	22,34	2233,2	139,6
	06/02/04	II	9,31	26,90	63,86	2503,6	5943,3	45,97	2457,6	153,6
	27/02/04	I	10,63	28,57	48,82	3035,6	5187,0	38,44	2997,1	
	27/02/04	II	4,28	17,56	62,17	752,1	2662,7	13,33	738,8	46,2
	15/04/04	I	4,57	17,45	69,96	797,3	3196,6	18,64	778,6	48,7
	15/04/04	II	4,35	22,98	56,55	999,2	2458,9	11,31	987,9	61,7
	05/12/03	I	8,68	39,73	19,88	3448,2	1725,7	2,21	3446,0	215,4
	05/12/03	II	8,05	41,75	17,93	3360,5	1443,1	-	3360,5	210,0
	16/12/03	I	8,43	35,62	45,97	3003,5	3876,0	23,60	2979,9	186,2
	16/12/03	II	5,50	42,14	46,90	2316,4	2578,1	10,69	2305,7	144,1
	29/12/03	I	6,18	39,74	45,53	2456,7	2814,7	13,05	2443,7	152,7
	29/12/03	II	6,97	30,49	58,29	2124,9	4061,9	25,45	2099,4	131,2
	16/01/04	I	7,85	32,31	60,08	2536,7	4717,0	31,97	2504,7	156,5
	16/01/04	II	8,37	24,59	63,87	2058,7	5347,5	38,24	2020,4	126,3
	06/02/04	I	7,33	35,32	60,30	2587,9	4418,3	29,00	2558,9	159,9
	06/02/04	II	4,99	37,12	55,10	1851,2	2747,7	12,38	1838,8	114,9
	27/02/04	I	5,95	25,93	69,92	1541,5	4157,0	26,40	1515,1	94,7
	27/02/04	II	3,60	36,86	46,14	1327,0	1661,0	1,57	1325,4	82,8
	15/04/04	I	4,42	27,01	74,55	1193,8	3295,3	17,83	1176,0	73,5
	15/04/04	II	4,39	15,82	73,90	693,7	3240,6	17,28	676,4	42,3

Continua...

Continuação do Apêndice 20.

PLANTIO DIRETO NÃO IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	14,02	43,78	-	6136,6	-	-	-	-
	05/12/03	II	14,76	43,70	7,53	6449,3	1111,0	-	6449,2	403,1
	16/12/03	I	13,01	43,61	11,06	5673,7	1439,0	7,57	5666,1	354,1
	16/12/03	II	12,17	43,67	-	5315,5	-	-	-	-
	29/12/03	I	10,83	43,71	-	4732,9	-	-	-	-
	29/12/03	II	9,81	43,15	8,32	4233,0	816,7	-	4233,0	264,6
	16/01/04	I	11,22	43,41	9,81	4870,6	1100,4	-	4870,6	304,4
	16/01/04	II	12,65	42,44	12,17	5367,8	1538,8	10,09	5357,7	334,9
	06/02/04	I	10,01	40,77	20,22	4079,9	2023,3	22,35	4057,5	253,6
	06/02/04	II	10,21	43,09	14,53	4400,4	1483,5	8,69	4391,7	274,5
	27/02/04	I	8,24	41,65	20,97	3432,4	1728,3	14,89	3417,5	213,6
	27/02/04	II	7,54	42,96	15,24	3240,0	1149,7	0,25	3239,8	202,5
	15/04/04	I	7,88	38,17	22,58	3007,4	1779,1	16,17	2991,2	187,0
	15/04/04	II	6,99	43,67	18,18	3052,5	1270,8	3,31	3049,2	190,6
	Aveia + Ervilhaca	05/12/03	I	12,72	42,19	-	5367,4	-	-	5367,4
05/12/03		II	16,60	40,36	11,95	6699,4	1983,1	16,71	6682,6	417,7
16/12/03		I	9,99	43,88	10,27	4384,1	1025,6	-	4384,1	274,0
16/12/03		II	12,73	40,72	16,73	5184,1	2129,8	20,42	5163,6	322,7
29/12/03		I	9,08	43,37	10,69	3938,0	970,3	-	3938,0	246,1
29/12/03		II	8,59	42,87	9,65	3682,1	828,9	-	3682,1	230,1
16/01/04		I	9,00	44,13	15,69	3969,5	1410,9	2,24	3967,3	248,0
16/01/04		II	15,46	32,08	43,36	4960,2	6703,6	136,14	4824,1	301,5
06/02/04		I	8,47	42,29	19,45	3582,0	1647,5	8,22	3573,7	223,4
06/02/04		II	9,24	39,55	33,95	3655,6	3138,2	45,94	3609,7	225,6
27/02/04		I	6,15	40,83	28,85	2512,3	1775,2	11,45	2500,8	156,3
27/02/04		II	7,62	37,03	37,34	2821,0	2844,5	38,51	2782,4	173,9
15/04/04		I	6,61	38,54	30,75	2546,3	2031,5	17,94	2528,4	158,0
15/04/04		II	2,66	43,25	14,82	1150,5	394,3	-	1150,5	71,9
05/12/03		I	16,39	36,90	20,72	6047,5	3396,5	47,90	5999,6	375,0
05/12/03	II	14,90	40,22	14,88	5993,6	2217,5	18,07	5975,5	373,5	
16/12/03	I	11,18	40,00	22,50	4472,4	2515,7	25,62	4446,8	277,9	

Continua...

Continuação do Apêndice 20.

Ervilhaca	16/12/03	II	8,94	43,49	11,50	3888,9	1028,3	-	3888,9	243,1
	29/12/03	I	8,34	21,67	58,35	1807,3	4866,1	85,08	1722,2	107,6
	29/12/03	II	8,75	39,67	21,43	3472,3	1875,9	9,43	3462,9	216,4
	16/01/04	I	8,25	41,82	21,08	3450,6	1739,0	5,96	3444,6	215,3
	16/01/04	II	7,51	43,35	13,59	3256,5	1020,9	-	3256,5	203,5
	06/02/04	I	5,58	40,50	41,65	2260,3	2324,4	20,78	2239,5	140,0
	06/02/04	II	8,15	35,83	40,68	2920,5	3315,6	45,85	2874,7	179,7
	27/02/04	I	5,00	36,87	32,61	1844,2	1631,2	3,24	1841,0	115,1
	27/02/04	II	3,93	38,45	25,60	1511,9	1006,7	-	1511,9	94,5
	15/04/04	I	4,73	38,50	36,75	1819,9	1737,2	5,92	1814,0	113,4
	15/04/04	II	4,95	40,20	26,87	1988,7	1329,4	-	1988,7	124,3
PLANTIO DIRETO IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	13,77	43,11	8,88	5937,1	1222,7	1,75	5935,4	371,0
	05/12/03	II	13,37	43,39	-	5801,2	-	-	-	-
	16/12/03	I	13,49	43,65	7,84	5889,3	1058,3	-	5889,3	368,1
	16/12/03	II	12,92	43,13	10,72	5571,5	1384,4	5,15	5566,4	347,9
	29/12/03	I	11,42	43,61	-	4979,4	-	-	-	-
	29/12/03	II	10,81	44,64	7,83	4823,4	845,7	-	4823,4	301,5
	16/01/04	I	10,28	43,94	7,29	4518,4	749,6	-	4518,4	282,4
	16/01/04	II	10,33	42,05	-	4345,0	-	0,00	4345,0	271,6
	06/02/04	I	6,08	38,10	34,56	2317,6	2102,3	20,28	2297,3	143,6
	06/02/04	II	8,94	41,32	18,22	3693,6	1629,0	10,31	3683,3	230,2
	27/02/04	I	6,09	36,67	40,09	2233,6	2441,9	27,44	2206,1	137,9
	27/02/04	II	6,60	40,53	14,48	2676,2	956,3	-	2676,2	167,3
	15/04/04	I	4,30	33,39	34,31	1434,1	1473,8	7,04	1427,1	89,2
	15/04/04	II	7,04	29,00	53,59	2041,0	3772,0	55,47	1985,5	124,1
	05/12/03	I	13,16	42,26	9,66	5561,8	1271,1	-	5561,8	347,6
	05/12/03	II	13,53	41,98	9,53	5678,2	1288,5	-	5678,2	354,9
	16/12/03	I	10,23	43,47	11,84	4448,3	1211,1	-	4448,3	278,0
	16/12/03	II	12,07	40,59	13,20	4900,4	1593,6	5,71	4894,7	305,9
	29/12/03	I	8,97	45,27	10,22	4060,3	917,0	-	4060,3	253,8

Continua...

Continuação do Apêndice 20.

Aveia + Ervilhaca	29/12/03	II	10,24	43,31	12,60	4435,8	1290,5	-	4435,8	277,2
	16/01/04	I	8,87	42,35	15,58	3758,1	1382,7	1,27	3756,9	234,8
	16/01/04	II	12,05	37,81	32,40	4555,0	3903,7	54,40	4500,6	281,3
	06/02/04	I	17,49	17,24	64,97	3015,8	11365,7	211,66	2804,1	175,3
	06/02/04	II	7,45	41,13	27,40	3064,2	2041,2	15,15	3049,0	190,6
	27/02/04	I	4,45	42,17	27,04	1876,1	1203,0	-	1876,1	117,3
	27/02/04	II	5,12	31,49	42,48	1613,2	2176,1	17,99	1595,2	99,7
	15/04/04	I	4,56	20,37	64,15	928,7	2924,4	33,76	894,9	55,9
	15/04/04	II	4,76	34,18	45,86	1627,3	2183,2	18,14	1609,2	100,6
	Ervilhaca	05/12/03	I	12,72	42,61	11,55	5420,4	1469,2	-	5420,4
05/12/03		II	14,70	40,88	17,85	6010,2	2624,1	23,62	5986,6	374,2
16/12/03		I	10,39	38,59	18,05	4009,5	1874,9	7,83	4001,7	250,1
16/12/03		II	9,41	42,24	14,78	3972,7	1390,1	-	3972,7	248,3
29/12/03		I	9,65	41,19	31,15	3976,1	3006,5	31,68	3944,4	246,5
29/12/03		II	8,00	41,78	30,16	3340,3	2411,5	19,14	3321,2	207,6
16/01/04		I	8,36	37,77	25,44	3159,1	2127,7	13,16	3145,9	196,6
16/01/04		II	9,72	37,28	35,37	3623,6	3437,9	40,77	3582,8	223,9
06/02/04		I	5,48	42,10	33,24	2305,4	1820,1	6,68	2298,7	143,7
06/02/04		II	19,99	10,79	73,19	2157,4	14633,9	276,73	1880,6	117,5
27/02/04		I	3,83	37,93	34,43	1452,0	1318,2	-	1452,0	90,7
27/02/04		II	4,93	36,56	38,67	1802,4	1906,6	8,50	1793,9	112,1
15/04/04		I	4,43	25,00	50,87	1107,0	2252,7	15,79	1091,2	68,2
15/04/04		II	4,30	35,32	39,70	1517,4	1705,4	4,26	1513,1	94,6

¹Data da coleta do saco de decomposição (disposto no campo no dia 25/11/2003) - ²Concentração de C - ³Concentração de cinzas

⁴Quantidade de C correspondente ao solo que entrou no saco de decomposição, determinado pela equação 4.11.

⁵Concentração de C do solo média considerada nos cálculos: PD irrigado e não-irrigado (camada 0-0,025 m) = 1,96 e 2,22%, respectivamente; PC irrigado e não-irrigado (camada 0,05-0,10 m) = 0,95 e 0,93%, respectivamente.

⁵Concentração de cinzas do solo média considerada nos cálculos: PD irrigado e não-irrigado (camada 0-0,025 m) = 93 e 87,75%, respectivamente; PC irrigado e não-irrigado (camada 0,05-0,10 m) = 95,5 e 95,4%, respectivamente.

⁶Total de C remanescente na amostra do saco de decomposição descontado o C relativo ao solo que entrou.

⁷Razão entre o C remanescente na amostra do saco de decomposição, devidamente corrigido, e a quantidade inicial de massa seca de resíduos vegetais colocados no campo (16g) (equação 4.12.).

APÊNDICE 21. Dados de massa seca, N e cinzas das amostras remanescentes nos sacos de decomposição utilizados na determinação da cinética de decomposição de resíduos vegetais *in situ* no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão, incluindo as devidas correções realizadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul - RS, 2003/04.

	Data ¹	Rep.	Amostra remanescente no saco de decomposição				Massa N proveniente do solo ^{4,5}	Massa N corrigida ⁶	Teor N remanescente do resíduo original ⁷	
			Massa seca	Conc. N ²	Cinzas ³	Massa N				Massa Cinzas
			--- g ---	----- % -----	----- mg -----		----- mg g ⁻¹ -----			
PREPARO CONVENCIONAL NÃO IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	11,26	0,95	8,72	107,2	982,0	-	107,2	6,7
	05/12/03	II	11,95	0,95	14,69	113,7	1755,5	0,54	113,2	7,1
	16/12/03	I	10,68	1,29	25,96	138,3	2772,6	1,42	136,9	8,6
	16/12/03	II	9,18	1,30	17,80	119,5	1632,7	0,43	119,1	7,4
	29/12/03	I	8,26	1,46	33,51	121,0	2768,6	1,42	119,6	7,5
	29/12/03	II	8,28	1,30	35,79	107,6	2964,5	1,59	106,0	6,6
	16/01/04	I	9,79	1,17	47,82	114,7	4681,8	3,08	111,6	7,0
	16/01/04	II	8,83	1,27	43,35	111,8	3826,5	2,34	109,5	6,8
	06/02/04	I	8,39	1,20	50,62	100,9	4244,8	2,70	98,2	6,1
	06/02/04	II	9,00	1,26	64,81	113,0	5835,7	4,09	108,9	6,8
	27/02/04	I	5,84	1,73	47,99	100,9	2803,5	1,45	99,4	6,2
	27/02/04	II	7,67	1,37	65,65	104,8	5037,4	3,39	101,4	6,3
	15/04/04	I	10,11	0,89	71,91	90,1	7273,2	5,34	84,8	5,3
	15/04/04	II	7,35	0,77	74,81	56,5	5501,7	3,79	52,7	3,3
Aveia + Ervilhaca	05/12/03	I	8,99	1,61	11,58	144,9	1040,5	-	144,9	9,1
	05/12/03	II	9,35	1,52	11,85	141,7	1107,8	-	141,7	8,9
	16/12/03	I	10,26	1,48	50,41	152,4	5174,5	3,35	149,0	9,3
	16/12/03	II	8,83	1,43	37,54	126,6	3315,5	1,73	124,9	7,8
	29/12/03	I	8,84	1,91	49,90	168,7	4411,5	2,69	166,0	10,4
	29/12/03	II	8,31	1,35	54,96	111,9	4568,8	2,82	109,1	6,8
	16/01/04	I	5,01	2,22	43,71	111,3	2191,3	0,76	110,6	6,9
	16/01/04	II	6,57	2,08	36,62	136,6	2405,9	0,94	135,6	8,5

Continua ...

Continuação do Apêndice 21.

	06/02/04	I	10,09	1,15	69,46	115,9	7008,6	4,95	110,9	6,9
	06/02/04	II	8,45	1,18	63,19	100,0	5338,8	3,49	96,5	6,0
	27/02/04	I	6,92	1,39	67,20	96,1	4649,1	2,89	93,2	5,8
	27/02/04	II	7,95	1,20	68,81	95,0	5467,0	3,61	91,4	5,7
	15/04/04	I	6,52	1,94	52,72	126,5	3437,6	1,84	124,7	7,8
	15/04/04	II	6,64	1,48	65,75	98,6	4365,7	2,65	95,9	6,0
Ervilhaca	05/12/03	I	10,10	1,68	28,98	170,1	2927,1	1,24	168,9	10,6
	05/12/03	II	9,94	1,62	39,20	161,4	3896,4	2,08	159,3	10,0
	16/12/03	I	8,99	1,24	57,46	111,4	5167,1	3,19	108,2	6,8
	16/12/03	II	9,99	1,41	58,25	141,2	5819,1	3,75	137,4	8,6
	29/12/03	I	8,91	2,29	14,71	204,0	1311,3	-	204,0	12,7
	29/12/03	II	4,52	2,11	52,79	95,5	2384,0	0,77	94,7	5,9
	16/01/04	I	5,72	1,72	49,65	98,5	2840,0	1,16	97,3	6,1
	16/01/04	II	6,42	1,14	63,67	72,9	4085,3	2,25	70,7	4,4
	06/02/04	I	4,40	1,66	51,99	72,9	2284,8	0,68	72,2	4,5
	06/02/04	II	7,67	1,08	74,75	83,3	5736,0	3,68	79,6	5,0
	27/02/04	I	6,63	1,13	74,15	75,0	4913,8	2,97	72,1	4,5
	27/02/04	II	5,19	1,67	60,71	87,0	3153,5	1,44	85,6	5,3
	15/04/04	I	3,35	2,33	34,27	77,9	1147,2	-	77,9	4,9
	15/04/04	II	5,24	1,01	72,24	52,7	3783,0	1,98	50,7	3,2
PREPARO CONVENCIONAL IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	13,15	0,90	13,85	118,6	1822,0	0,59	118,0	7,4
	05/12/03	II	11,32	0,97	-	109,8	-	-	-	-
	16/12/03	I	9,91	1,32	21,88	131,0	2167,5	0,89	130,1	8,1
	16/12/03	II	9,64	1,15	15,19	110,7	1464,3	0,28	110,4	6,9
	29/12/03	I	8,62	1,26	25,10	108,2	2164,1	0,89	107,3	6,7
	29/12/03	II	11,86	1,16	50,75	138,0	6017,1	4,24	133,8	8,4
	16/01/04	I	12,68	0,94	66,08	119,7	8378,9	6,29	113,4	7,1
	16/01/04	II	5,77	1,69	39,06	97,7	2251,8	0,97	96,7	6,0
	06/02/04	I	5,79	2,28	58,44	132,0	3383,9	1,95	130,1	8,1
	06/02/04	II	7,06	1,84	46,46	129,8	3280,1	1,86	127,9	8,0

Continua...

Continuação Apêndice 21.

	27/02/04	I	8,03	1,44	52,91	115,7	4246,3	2,70	113,0	7,1
	27/02/04	II	9,87	1,07	66,50	105,9	6562,3	4,71	101,2	6,3
	15/04/04	I	3,69	1,51	58,01	55,8	2141,1	0,87	55,0	3,4
	15/04/04	II	2,95	1,12	68,45	32,9	2018,0	0,76	32,2	2,0
	05/12/03	I	11,74	1,35	23,97	158,1	2815,0	1,30	156,8	9,8
	05/12/03	II	9,79	1,51	12,05	147,6	1179,6	-	147,6	9,2
	16/12/03	I	7,99	1,87	27,40	149,7	2189,7	0,75	148,9	9,3
	16/12/03	II	8,50	1,55	26,77	131,9	2275,6	0,83	131,1	8,2
	29/12/03	I	6,85	1,70	46,55	116,4	3190,2	1,62	114,8	7,2
	29/12/03	II	8,63	1,66	47,12	143,2	4067,4	2,39	140,8	8,8
	16/01/04	I	6,91	1,78	59,64	122,9	4122,5	2,43	120,4	7,5
	16/01/04	II	9,47	1,48	61,73	139,9	5846,2	3,93	135,9	8,5
	06/02/04	I	6,72	2,28	53,11	153,5	3568,2	1,95	151,5	9,5
	06/02/04	II	9,31	1,44	63,86	133,8	5943,3	4,02	129,7	8,1
	27/02/04	I	10,63	2,36	48,82	251,1	5187,0	3,36	247,8	0,0
	27/02/04	II	4,28	1,34	62,17	57,5	2662,7	1,16	56,3	3,5
	15/04/04	I	4,57	1,30	69,96	59,5	3196,6	1,63	57,9	3,6
	15/04/04	II	4,35	2,00	56,55	87,1	2458,9	0,99	86,1	5,4
	05/12/03	I	8,68	2,52	19,88	218,5	1725,7	0,19	218,3	13,6
	05/12/03	II	8,05	2,17	17,93	174,3	1443,1	-	174,3	10,9
	16/12/03	I	8,43	1,88	45,97	158,2	3876,0	2,06	156,2	9,8
	16/12/03	II	5,50	2,16	46,90	118,6	2578,1	0,93	117,7	7,4
	29/12/03	I	6,18	2,08	45,53	128,7	2814,7	1,14	127,6	8,0
	29/12/03	II	6,97	1,76	58,29	122,5	4061,9	2,22	120,3	7,5
	16/01/04	I	7,85	1,51	60,08	118,7	4717,0	2,79	115,9	7,2
	16/01/04	II	8,37	1,31	63,87	109,4	5347,5	3,34	106,0	6,6
	06/02/04	I	7,33	1,35	60,30	99,0	4418,3	2,53	96,4	6,0
	06/02/04	II	4,99	2,05	55,10	102,5	2747,7	1,08	101,4	6,3
	27/02/04	I	5,95	1,72	69,92	102,2	4157,0	2,31	99,8	6,2
	27/02/04	II	3,60	2,24	46,14	80,5	1661,0	0,14	80,4	5,0
	15/04/04	I	4,42	1,34	74,55	59,3	3295,3	1,56	57,8	3,6
	15/04/04	II	4,39	1,12	73,90	49,0	3240,6	1,51	47,4	3,0

Continua...

Continuação do Apêndice 21.

PLANTIO DIRETO NÃO IRRIGADO										
Aveia	05/12/03	I	14,02	1,12	-	157,6	-	-	-	-
	05/12/03	II	14,76	1,04	7,53	153,7	1111,0	-	153,7	9,6
	16/12/03	I	13,01	0,96	11,06	125,2	1439,0	0,63	124,5	7,8
	16/12/03	II	12,17	0,97	-	117,6	-	-	-	-
	29/12/03	I	10,83	0,98	-	105,9	-	-	-	-
	29/12/03	II	9,81	1,12	8,32	109,5	816,7	-	109,5	6,8
	16/01/04	I	11,22	1,03	9,81	115,5	1100,4	-	115,5	7,2
	16/01/04	II	12,65	0,94	12,17	119,2	1538,8	0,84	118,3	7,4
	06/02/04	I	10,01	1,21	20,22	121,2	2023,3	1,85	119,4	7,5
	06/02/04	II	10,21	1,12	14,53	114,4	1483,5	0,72	113,7	7,1
	27/02/04	I	8,24	1,19	20,97	97,9	1728,3	1,23	96,6	6,0
	27/02/04	II	7,54	1,38	15,24	104,2	1149,7	0,02	104,2	6,5
	15/04/04	I	7,88	1,45	22,58	114,2	1779,1	1,34	112,8	7,1
	15/04/04	II	6,99	1,52	18,18	106,3	1270,8	0,27	106,0	6,6
	Aveia + Ervilhaca	05/12/03	I	12,72	1,70	-	216,1	-	-	216,1
05/12/03		II	16,60	1,57	11,95	260,3	1983,1	1,39	258,9	16,2
16/12/03		I	9,99	1,48	10,27	147,6	1025,6	-	147,5	9,2
16/12/03		II	12,73	0,15	16,73	19,5	2129,8	1,69	17,8	1,1
29/12/03		I	9,08	1,60	10,69	145,6	970,3	-	145,6	9,1
29/12/03		II	8,59	1,71	9,65	146,6	828,9	-	146,6	9,2
16/01/04		I	9,00	1,54	15,69	138,2	1410,9	0,19	138,0	8,6
16/01/04		II	15,46	1,17	43,36	181,2	6703,6	11,28	169,9	10,6
06/02/04		I	8,47	1,71	19,45	144,9	1647,5	0,68	144,2	9,0
06/02/04		II	9,24	1,29	33,95	119,7	3138,2	3,81	115,9	7,2
27/02/04		I	6,15	2,03	28,85	125,0	1775,2	0,95	124,0	7,8
27/02/04		II	7,62	1,92	37,34	146,0	2844,5	3,19	142,8	8,9
15/04/04		I	6,61	2,41	30,75	159,3	2031,5	1,49	157,8	9,9
15/04/04		II	2,66	2,21	14,82	58,9	394,3	-	58,9	3,7
05/12/03		I	16,39	2,52	20,72	413,3	3396,5	3,97	409,4	25,6
05/12/03	II	14,90	2,80	14,88	417,1	2217,5	1,50	415,6	26,0	
16/12/03	I	11,18	2,09	22,50	233,3	2515,7	2,12	231,2	14,4	

Continua...

Continuação do Apêndice 21.

Ervilhaca	16/12/03	II	8,94	2,22	11,50	198,7	1028,3	-	198,7	12,4
	29/12/03	I	8,34	1,50	58,35	125,1	4866,1	7,05	118,1	7,4
	29/12/03	II	8,75	2,27	21,43	198,6	1875,9	0,78	197,8	12,4
	16/01/04	I	8,25	1,89	21,08	155,8	1739,0	0,49	155,3	9,7
	16/01/04	II	7,51	2,22	13,59	166,6	1020,9	-	166,6	10,4
	06/02/04	I	5,58	2,06	41,65	115,1	2324,4	1,72	113,4	7,1
	06/02/04	II	8,15	1,98	40,68	161,0	3315,6	3,80	157,2	9,8
	27/02/04	I	5,00	2,25	32,61	112,5	1631,2	0,27	112,2	7,0
	27/02/04	II	3,93	2,29	25,60	90,2	1006,7	-	90,2	5,6
	15/04/04	I	4,73	2,40	36,75	113,2	1737,2	0,49	112,7	7,0
	15/04/04	II	4,95	2,39	26,87	118,1	1329,4	-	118,1	7,4
	PLANTIO DIRETO IRRIGADO									
Aveia	05/12/03	I	13,77	0,99	8,88	135,8	1222,7	0,14	135,6	8,5
	05/12/03	II	13,37	1,07	-	143,5	-	-	-	-
	16/12/03	I	13,49	0,99	7,84	133,0	1058,3	-	133,0	8,3
	16/12/03	II	12,92	1,00	10,72	129,4	1384,4	0,42	129,0	8,1
	29/12/03	I	11,42	1,12	-	127,5	-	-	-	-
	29/12/03	II	10,81	1,16	7,83	125,3	845,7	-	125,3	7,8
	16/01/04	I	10,28	1,12	7,29	114,8	749,6	-	114,8	7,2
	16/01/04	II	10,33	1,03	-	106,4	-	-	106,4	6,6
	06/02/04	I	6,08	1,56	34,56	95,1	2102,3	1,67	93,5	5,8
	06/02/04	II	8,94	1,26	18,22	112,5	1629,0	0,85	111,7	7,0
	27/02/04	I	6,09	1,70	40,09	103,5	2441,9	2,25	101,2	6,3
	27/02/04	II	6,60	1,60	14,48	105,6	956,3	-	105,6	6,6
	15/04/04	I	4,30	1,90	34,31	81,5	1473,8	0,58	80,9	5,1
	15/04/04	II	7,04	1,54	53,59	108,4	3772,0	4,56	103,8	6,5
	05/12/03	I	13,16	1,83	9,66	240,2	1271,1	-	240,2	15,0
	05/12/03	II	13,53	1,89	9,53	256,0	1288,5	-	256,0	16,0
	16/12/03	I	10,23	1,49	11,84	152,3	1211,1	-	152,3	9,5
	16/12/03	II	12,07	1,69	13,20	204,1	1593,6	0,47	203,6	12,7
	29/12/03	I	8,97	1,50	10,22	134,6	917,0	-	134,6	8,4

Continua...

Continuação do Apêndice 21.

Aveia + Ervilhaca	29/12/03	II	10,24	1,46	12,60	149,2	1290,5	-	149,2	9,3
	16/01/04	I	8,87	1,49	15,58	132,1	1382,7	0,10	132,0	8,2
	16/01/04	II	12,05	1,44	32,40	173,6	3903,7	4,47	169,1	10,6
	06/02/04	I	17,49	0,85	64,97	148,2	11365,7	17,39	130,8	8,2
	06/02/04	II	7,45	1,31	27,40	97,6	2041,2	1,24	96,4	6,0
	27/02/04	I	4,45	2,00	27,04	88,8	1203,0	-	88,8	5,5
	27/02/04	II	5,12	1,96	42,48	100,2	2176,1	1,48	98,7	6,2
	15/04/04	I	4,56	1,29	64,15	58,7	2924,4	2,77	55,9	3,5
	15/04/04	II	4,76	2,18	45,86	103,7	2183,2	1,49	102,2	6,4
	Ervilhaca	05/12/03	I	12,72	2,70	11,55	343,7	1469,2	-	343,7
05/12/03		II	14,70	2,80	17,85	411,0	2624,1	1,94	409,0	25,6
16/12/03		I	10,39	2,24	18,05	232,4	1874,9	0,64	231,8	14,5
16/12/03		II	9,41	2,62	14,78	246,5	1390,1	-	246,5	15,4
29/12/03		I	9,65	1,74	31,15	168,2	3006,5	2,60	165,6	10,3
29/12/03		II	8,00	1,94	30,16	155,4	2411,5	1,57	153,8	9,6
16/01/04		I	8,36	2,17	25,44	181,1	2127,7	1,08	180,1	11,3
16/01/04		II	9,72	1,80	35,37	175,1	3437,9	3,35	171,8	10,7
06/02/04		I	5,48	2,06	33,24	112,6	1820,1	0,55	112,1	7,0
06/02/04		II	19,99	0,75	73,19	149,6	14633,9	22,73	126,9	7,9
27/02/04		I	3,83	2,11	34,43	80,9	1318,2	-	80,9	5,1
27/02/04		II	4,93	2,30	38,67	113,4	1906,6	0,70	112,7	7,0
15/04/04		I	4,43	2,02	50,87	89,6	2252,7	1,30	88,3	5,5
15/04/04		II	4,30	2,11	39,70	90,5	1705,4	0,35	90,1	5,6

¹Data da coleta do saco de decomposição (disposto no campo no dia 25/11/2003) - ²Concentração de N - ³Concentração de cinzas

⁴Quantidade de N correspondente ao solo que entrou no saco de decomposição, determinado pela equação 4.11.

⁵Concentração de N do solo média considerada nos cálculos: PD irrigado e não-irrigado (camada 0-0,025 m) = 0,16 e 0,18%, respectivamente; PC irrigado e não-irrigado (camada 0,05-0,10 m) = 0,083%, ambos.

⁵Concentração de cinzas do solo média considerada nos cálculos: PD irrigado e não-irrigado (camada 0-0,025 m) = 93 e 87,75%, respectivamente; PC irrigado e não-irrigado (camada 0,05-0,10 m) = 95,5 e 95,4%, respectivamente.

⁶Total de N remanescente na amostra do saco de decomposição descontado o N relativo ao solo que entrou.

⁷Razão entre o N remanescente na amostra do saco de decomposição, devidamente corrigido, e a quantidade inicial de massa seca de resíduos vegetais colocados no campo (16g) (equação 4.12.).

APÊNDICE 22. Teores e quantidade de cinzas, carbono e nitrogênio originais dos resíduos de aveia, aveia + ervilhaca e ervilhaca, colocados nos sacos de decomposição para avaliação da cinética de decomposição do material vegetal *in situ* no solo sob plantio direto e preparo convencional, com e sem irrigação por aspersão. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2003/04.

Resíduo	Rep.	Massa seca	Cinzas		Carbono		Nitrogênio	
		g	%	mg	%	mg	%	mg
Aveia	I	16,0	7,0	1120,7	43,95	7032,0	1,42	227,8
	II	16,0	7,2	1156,9	44,10	7056,0	1,30	208,7
	III	16,0	7,1	1141,9	43,85	7016,0	1,27	203,2
	Média	16,0	7,1	1139,8	43,97	7034,7	1,33	213,3
Aveia + Ervilhaca	I	16,0	8,4	1348,2	43,36	6937,6	2,34	375,1
	II	16,0	-	-	43,41	6945,6	2,18	349,4
	III	16,0	8,1	1296,7	43,21	6913,6	2,31	369,6
	Média	16,0	8,3	1322,5	43,33	6932,3	2,28	364,7
Ervilhaca	I	16,0	9,3	1484,1	42,86	6857,6	3,49	558,1
	II	16,0	9,5	1519,9	42,80	6848,0	3,47	554,4
	III	16,0	9,4	1505,7	42,81	6849,6	3,18	509,0
	Média	16,0	9,4	1503,2	42,82	6851,7	3,38	540,5

APÊNDICE 23. Concentração de C orgânico do solo em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)	Repetição	Concentração C (kg Mg ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	13,5	11,4	24,8	24,1	22,5
	II	11,2	10,4	18,6	17,0	18,3
	III	11,7	10,3	23,1	16,6	17,9
	IV	10,5	10,3	18,4	18,8	20,5
	V	10,8	10,2	26,0	21,8	17,4
Média		11,5	10,5	22,2	19,6	19,3
0,025-0,050	I	11,1	10,7	17,4	15,1	11,0
	II	10,1	10,3	11,9	12,4	10,6
	III	10,5	9,0	12,9	10,3	12,9
	IV	10,3	10,1	13,0	11,4	12,2
	V	10,0	8,9	14,9	14,9	13,2
Média		10,4	9,8	14,0	12,8	12,0
0,050-0,10	I	9,9	9,9	9,4	8,9	9,0
	II	9,1	10,3	8,6	10,5	8,0
	III	8,6	8,8	7,8	8,1	9,6
	IV	9,1	10,0	8,7	7,8	10,3
	V	9,6	8,6	9,3	9,9	9,0
Média		9,3	9,5	8,8	9,0	9,2
0,10-0,20	I	9,2	9,8	6,5	8,1	7,4
	II	8,7	8,9	5,6	9,5	7,0
	III	8,3	8,3	6,1	6,4	7,6
	IV	8,6	9,0	6,7	7,1	7,4
	V	8,7	8,3	6,7	7,0	7,5
Média		8,7	8,9	6,3	7,6	7,4

APÊNDICE 24. Estoques de C orgânico do solo estimados pela metodologia da camada equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)	Repetição	C orgânico (Mg ha ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	5,9	5,0	10,1	9,8	8,3
	II	4,9	4,5	7,6	6,9	6,7
	III	5,1	4,5	9,4	6,8	6,6
	IV	4,6	4,5	7,5	7,6	7,5
	V	4,7	4,4	10,6	8,8	6,4
Média		5,0	4,6	9,0	8,0	7,1
0,025-0,050	I	4,8	4,7	7,1	6,1	4,1
	II	4,4	4,5	4,8	5,0	3,9
	III	4,6	3,9	5,3	4,2	4,7
	IV	4,5	4,4	5,3	4,6	4,5
	V	4,4	3,9	6,0	6,1	4,8
Média		4,5	4,3	5,7	5,2	4,4
0,050-0,10	I	7,9	7,9	7,6	7,2	7,6
	II	7,3	8,3	6,9	8,4	6,7
	III	6,9	7,0	6,3	6,5	8,1
	IV	7,3	8,0	7,0	6,3	8,7
	V	7,7	6,9	7,5	8,0	7,6
Média		7,4	7,6	7,1	7,3	7,8
0,10-0,20	I	14,6	15,4	10,8	13,4	12,9
	II	13,8	14,0	9,3	15,7	12,2
	III	13,2	13,1	10,0	10,6	13,3
	IV	13,6	14,3	11,1	11,7	12,9
	V	13,8	13,1	11,0	11,5	13,1
Média		13,8	14,0	10,4	12,6	12,9

APÊNDICE 25. Estoques de C orgânico do solo estimados pela metodologia da massa equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)*	Repetição	C orgânico (Mg ha ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	5,0	4,2	9,1	8,8	8,3
	II	4,1	3,8	6,8	6,3	6,7
	III	4,3	3,8	8,5	5,7	6,6
	IV	3,9	3,8	6,8	6,5	7,5
	V	4,0	3,8	9,6	8,8	6,4
Média		4,2	3,9	8,2	7,2	7,1
0,025-0,050	I	4,1	3,9	6,4	5,5	4,1
	II	3,7	3,8	4,4	4,6	3,9
	III	3,9	3,3	4,8	3,6	4,7
	IV	3,8	3,7	4,8	3,9	4,5
	V	3,7	3,3	5,5	6,1	4,8
Média		3,8	3,6	5,2	4,7	4,4
0,050-0,10	I	8,4	8,4	8,0	7,5	7,6
	II	7,7	8,7	7,2	8,9	6,7
	III	7,3	7,4	6,6	6,9	8,1
	IV	7,7	8,4	7,4	6,7	8,7
	V	8,1	7,3	7,9	8,0	7,6
Média		7,8	8,0	7,4	7,6	7,8
0,10-0,20	I	16,1	17,1	11,4	14,2	12,9
	II	15,3	15,5	9,9	16,6	12,2
	III	14,5	14,5	10,5	11,7	13,3
	IV	15,0	15,8	11,7	12,9	12,9
	V	15,2	14,5	11,7	11,5	13,1
Média		15,2	15,5	11,0	13,3	12,9

*Camadas ajustadas utilizadas no cálculo da massa equivalente de solo: PC (0-0,021; 0,021-0,042; 0,042-0,095; e 0,095-0,206 m) - PD (0-0,023; 0,023-0,045; 0,045-0,098; e 0,098-0,204 m).

APÊNDICE 26. Concentração de N total do solo em sistema plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)	Repetição	Concentração N (kg Mg ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	1,17	0,98	2,07	1,94	1,71
	II	0,99	0,89	1,72	1,48	1,35
	III	1,08	0,90	1,81	1,38	1,27
	IV	0,94	0,89	1,53	1,52	1,33
	V	0,95	1,01	2,08	1,76	1,35
Média		1,02	0,93	1,84	1,61	1,40
0,025-0,050	I	0,96	0,92	1,41	1,32	0,97
	II	0,90	0,92	1,14	1,17	0,98
	III	0,91	0,77	1,19	0,91	1,02
	IV	1,04	0,87	1,12	1,04	0,94
	V	0,86	0,78	1,32	1,31	1,12
Média		0,93	0,85	1,24	1,15	1,00
0,050-0,10	I	0,91	0,87	0,90	0,89	0,77
	II	0,81	0,89	0,78	0,94	0,67
	III	0,80	0,78	0,78	0,72	0,85
	IV	0,80	0,81	0,79	0,78	0,82
	V	0,82	0,79	0,93	0,93	0,76
Média		0,83	0,83	0,84	0,85	0,77
0,10-0,20	I	0,85	0,86	0,63	0,70	0,62
	II	0,85	0,81	0,56	0,80	0,59
	III	0,81	0,74	0,59	0,59	0,64
	IV	0,79	0,85	0,63	0,60	0,58
	V	0,81	0,71	0,65	0,71	0,62
Média		0,82	0,79	0,61	0,68	0,61

APÊNDICE 27. Estoques de N total do solo estimados pela metodologia da camada equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)	Repetição	N total (Mg ha ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	0,506	0,426	0,842	0,787	0,629
	II	0,429	0,387	0,699	0,601	0,496
	III	0,466	0,389	0,736	0,559	0,467
	IV	0,407	0,384	0,624	0,616	0,489
	V	0,412	0,437	0,845	0,713	0,494
Média		0,444	0,405	0,749	0,655	0,515
0,025-0,050	I	0,416	0,398	0,577	0,537	0,354
	II	0,392	0,398	0,466	0,476	0,358
	III	0,394	0,336	0,485	0,370	0,373
	IV	0,451	0,380	0,459	0,424	0,345
	V	0,372	0,338	0,540	0,531	0,410
Média		0,405	0,370	0,505	0,468	0,368
0,050-0,10	I	0,731	0,701	0,725	0,719	0,649
	II	0,649	0,718	0,630	0,753	0,564
	III	0,647	0,626	0,633	0,577	0,716
	IV	0,644	0,652	0,642	0,626	0,691
	V	0,661	0,635	0,754	0,750	0,637
Média		0,666	0,666	0,677	0,685	0,651
0,10-0,20	I	1,344	1,347	1,040	1,157	1,079
	II	1,344	1,268	0,922	1,322	1,029
	III	1,272	1,172	0,969	0,973	1,116
	IV	1,248	1,336	1,040	0,991	1,016
	V	1,272	1,121	1,070	1,174	1,091
Média		1,296	1,249	1,008	1,123	1,066

APÊNDICE 28. Estoques de N total do solo estimados pela metodologia da massa equivalente de solo, em sistemas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), com e sem irrigação por aspersão, e no solo mantido sob campo nativo, em cinco repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004.

Profundidade (m)	Repetição	N total (Mg ha ⁻¹)				
		PC Não irrigado	PC Irrigado	PD Não irrigado	PD Irrigado	Campo Nativo
0-0,025	I	0,427	0,360	0,761	0,712	0,629
	II	0,361	0,327	0,632	0,543	0,496
	III	0,394	0,328	0,665	0,505	0,467
	IV	0,344	0,324	0,563	0,556	0,489
	V	0,347	0,369	0,764	0,644	0,494
Média		0,375	0,342	0,677	0,592	0,515
0,025-0,050	I	0,351	0,337	0,520	0,486	0,354
	II	0,331	0,337	0,420	0,431	0,358
	III	0,332	0,284	0,437	0,335	0,373
	IV	0,381	0,321	0,413	0,383	0,345
	V	0,314	0,286	0,487	0,481	0,410
Média		0,342	0,313	0,456	0,423	0,368
0,050-0,10	I	0,769	0,739	0,762	0,754	0,649
	II	0,684	0,757	0,662	0,790	0,564
	III	0,678	0,660	0,665	0,606	0,716
	IV	0,681	0,687	0,674	0,657	0,691
	V	0,696	0,669	0,792	0,787	0,637
Média		0,702	0,702	0,711	0,719	0,651
0,10-0,20	I	1,487	1,490	1,100	1,224	1,079
	II	1,486	1,402	0,975	1,399	1,029
	III	1,406	1,296	1,025	1,030	1,116
	IV	1,380	1,477	1,100	1,049	1,016
	V	1,406	1,240	1,131	1,243	1,091
Média		1,433	1,381	1,066	1,189	1,066

*Camadas ajustadas utilizadas no cálculo da massa equivalente de solo: PC (0-0,021; 0,021-0,042; 0,042-0,095; e 0,095-0,206 m) - PD (0-0,023; 0,023-0,045; 0,045-0,098; e 0,098-0,204 m).