

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM AGRONOMIA

PAULO ROGÉRIO BORSZOWSKI

PERDA E RECUPERAÇÃO DE CARBONO NOS COMPARTIMENTOS DA
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E
PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA

2011

PAULO ROGÉRIO BORSZOWSKI

PERDA E RECUPERAÇÃO DE CARBONO NOS COMPARTIMENTOS DA
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E
PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de Ponta Grossa para obtenção do
título de Mestre em Agronomia – Área de
Concentração em Agricultura. Ênfase em
Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de
Moraes Sá

PONTA GROSSA

2011

B738p Borszowskei, Paulo Rogério
Perda e recuperação de carbono no compartimento da matéria orgânica do solo nos sistemas convencional e plantio direto / Paulo Rogério Borszowskei. Ponta Grossa, 2011.
96f.
Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração : Agricultura . Ênfase em Uso e Manejo do Solo) , Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador : Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

1. Conversão. 2. Sistemas de preparo do solo. 3. Aporte de carbono.
I. Sá, João Carlos de Moraes. II. T.

CDD: 631.41



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “PERDA E RECUPERAÇÃO DE CARBONO NOS COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO”.

Nome: Paulo Rogério Borszowski

Orientador: João Carlos de Moraes Sá

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

Prof. Dr. Sérgio da Costa Saab

Prof. Dr. Neyde Fabíola Balarezo Giarola

Data da Realização: 23 de dezembro de 2011.

DEDICO

A minha família pelo constante apóio e
incentivo ao crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao programa de Pós Graduação em Agronomia, aos professores e a disposição do ambiente físico.

À Fundação Agrissus pelo apóio financeiro ao projeto de dissertação.

À equipe do LABMOS, em especial, à técnica laboratorial Jaqueline A. Gonçalves, aos alunos de graduação em agronomia, Mario Nadolny Júnior, Guilherme Eurich, Anderson Farias, Daiane da Cruz Hartman, Tiago Massao Inagaki.

Ao Dr. Jadir Rosa do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e ao Engenheiro Agrônomo M.Sc. Clyton Bortolini da Fundação Rio Verde (FRV), por permitir o acesso aos experimentos.

Aos amigos Clever Brieds e Florent Tivet pelo constante apoio.

Ao professor, orientador e amigo João Carlos de Moraes Sá, por ter depositado confiança em meu trabalho e compreensão nos momentos de dificuldades.

À todas as pessoas que tiveram envolvimento para a realização desta pesquisa.

BORSZOWSKI, Paulo Rogério.

PERDA E RECUPERAÇÃO DE CARBONO NOS COMPARTIMENTOS DA
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E
PLANTIO DIRETO

2011. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

RESUMO

Em solos sob vegetação nativa (VN) o conteúdo de carbono (C) encontra-se em equilíbrio estável devido as adições de C dos resíduos orgânicos serem iguais as perdas pela decomposição. A conversão da VN para sistemas agrícolas provoca queda acentuada nos estoques de C no solo principalmente quando o manejo é baseado no revolvimento do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar: 1) as mudanças nos compartimentos da matéria orgânica do solo devido à conversão da VN em área agrícola e o uso do preparo do solo como sistema de manejo para produção de grãos, 2) a capacidade de recuperação de C do solo com o plantio direto associado a sistemas de culturas. O estudo foi realizado em dois locais: 1) Na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) Ponta Grossa-PR e denominado PG; 2) Na estação experimental da Fundação Rio Verde, Lucas do Rio Verde-MT e denominado LRV. O desenho experimental em ambos locais é constituído de faixas com 3 repetições. A amostragem do solo foi em ambos locais nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm e realizadas em setembro e outubro de 2009, respectivamente. Para a avaliação dos compartimentos da matéria orgânica do solo foram determinados o conteúdo de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico oxidável (C-OX), carbono nos polissacarídeos totais (C-PT), carbono orgânico extraído com água quente (C-AQ), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e carbono recalcitrante (C-R). Após a conversão da VN, o estoque médio de C (0-20 cm) diminuiu de 92,0 Mg ha⁻¹ em VN a 67,4 Mg ha⁻¹ e de 48,0 Mg ha⁻¹ para 33,8 Mg ha⁻¹ no plantio convencional em PG e LRV, respectivamente, afetando sensivelmente os compartimentos lábeis representados pelo C-AQ e o C-PT. Em LRV, os sistemas de plantio direto com elevada entrada de C apresentaram estoques da COP e COAM semelhantes com a VN (0-20 cm). Em PG, o PD na camada de 0-20 cm foi superior em 17,0 e 14,3 Mg ha⁻¹ de C em relação ao PC e preparo mínimo, respectivamente, cuja taxa anual de acúmulo de C foi de 0,71 a 0,85 Mg C ha⁻¹.

Palavras chave: Conversão; sistemas de preparo do solo; aporte de carbono.

SUMMARY

In soils under native vegetation (NV), the carbon content (C) is in stable equilibrium due to additions of organic residues of C are equal losses by decomposition. The conversion of NV agricultural systems causes a sharp drop in soil C stocks especially when management is based on tillage and soil preparation for growing grain. The objective of this study was to evaluate: 1) changes in the compartments of soil organic matter due to conversion of NV in the agricultural area and the use of soil preparation and management system for grain production, 2) The resilience of soil C associated with the no tillage cropping systems. This study was conducted in long-term experiments and in two places: 1) experimental station of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) Ponta Grossa-PR and called PG, 2) experimental station Foundation of Rio Verde, in Lucas do Rio Verde, Mato Grosso and called LRV. The experiment design at both sites consists of macro-plots with three repetitions. Soil sampling at both sites were at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm and held in September and October 2009 respectively. For the assessment of organic matter pools were analyzed for total organic carbon content (TOC), oxidizable organic carbon (C-OX), total carbon in polysaccharides (C-PT), organic carbon extracted with hot water (C-HW), carbon particulate organic (POC), mineral associated organic carbon with (MAOC) and recalcitrant carbon (C-R). After conversion of native vegetation to agricultural land, the average stock of C for 0-20 cm decreased from 92.0 Mg ha⁻¹ from NV to 67.4 Mg ha⁻¹ to CT and from 48.0 Mg ha⁻¹ in NV to 33.8 Mg ha⁻¹ on the CT, in PG and LRV, respectively, and affecting the labile SOC compartments as a C-PT and C-AQ. In PG, the NT in the 0-20 cm layer was higher in 17.0 and 14.3 Mg C ha⁻¹ over the CT and MT, whose annual rate of accumulation of C was 0.71 to 0.85 Mg C ha⁻¹. In LRV, NT systems with high input C of POC recovery the and OCAM similar to the NV (0-20 cm).

Keywords: Conversion, tillage systems, supply of carbon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização dos experimentos com sistemas de preparo do solo: PG = Ponta Grossa, PR e LRV, Lucas do Rio Verde, MT.....	26
Figura 2.	Histórico de uso do solo e lay-out do experimento na área experimental do IAPAR.....	28
Figura 3.	Histórico de uso do solo e lay-out do experimento na área experimental da Fundação de Lucas do Rio Verde.....	31
Figura 4.	Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1m de profundidade (PG).....	42
Figura 5.	Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade (LRV).....	44
Figura 6.	Relações lineares do COP e COAM entre o COT para PG – seis repetições e LRV– quatro repetições sob vegetação nativa.....	49
Figura 7.	Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo, na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade em PG.....	51
Figura 8.	Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo, na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade em LRV.....	52
Figura 9.	Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo sob plantio direto (PD), preparo mínimo (PM e preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade.	65
Figura 10.	Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo no tratamento em preparo convencional (PC) e plantio direto até 1 m de profundidade (LRV).....	68

Figura 11.	Relação entre o C acumulado no solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e entrada de C através de resíduos ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sob PD até 1 m de profundidade em LRV.....	71
Figura 12.	Relação entre o acúmulo de C do solo sob sistemas PD's para a camada de 0-20 e 0-100 cm de profundidade em LRV.....	71
Figura 13.	Estoques de C nas frações COP e COAM em LRV.....	74
Figura 14.	Relação entre o total de C acumulado no sistema através de matéria seca e o estoque de C na fração COAM em LRV.....	75
Figura 15.	Relação entre o conteúdo de C-PT (g kg^{-1}) e C-AQ (g kg^{-1}) de acordo com o intervalo das camadas do solo (cm) para PC, PM e PD em PG.....	79
Figura 16.	Relação entre o conteúdo de C-PT (g kg^{-1}) e CA-Q (g kg^{-1}) de acordo com o intervalo das camadas do solo (cm) para PC e PD's em LRV.....	80
Figura 17.	Proporção do C-R (barra vazia) no carbono orgânico total - COT (g kg^{-1}) para a camada 0-5 cm de profundidade em LRV.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Locais, classificação do solo e descrições do clima.....	27
Tabela 2.	Histórico das culturas de verão e (-) de inverno em PG.....	29
Tabela 3.	Representação da porcentagem de óxidos em PG.....	29
Tabela 4.	Histórico das culturas de verão e (-) de inverno em LRV.....	30
Tabela 5.	Representação da porcentagem de óxidos em LRV.....	31
Tabela 6.	Produção de matéria seca M.S. (Mg ha^{-1}) e a média de deposição de C (Mg ha^{-1}) nos resíduos parte aérea e raízes para as culturas principais e culturas de cobertura sob PC.....	32
Tabela 7.	Conteúdo de C nos resíduos culturais e componentes do balanço de C para as culturas principais e culturas de cobertura.....	33
Tabela 8.	Análise química e conteúdo de argila dos locais em estudo.....	35
Tabela 9.	Variação média da densidade aparente ($\pm$ desvio padrão) do solo sob vegetação nativa e plantio convencional para PG e LRV.....	40
Tabela 10.	Estoque de carbono orgânico total COT ($\pm$ desvio padrão) até 1 m de profundidade em PG e LRV.....	43
Tabela 11.	Estoque de carbono orgânico total - COT nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pelo manejo nos locais PG e LRV.....	47
Tabela 12.	Perda do C original do solo na fração COP e COAM devido ao preparo convencional para a camada de 0-20 cm, em PG e LRV.....	49
Tabela 13.	Seqüência de culturas e entrada anual de C através da matéria seca no período experimental de 29 anos (1981-2009) em PG.....	61
Tabela 14.	Seqüência de culturas e entrada anual de C através da matéria seca no período experimental de 21 anos (1987 a 2009) em LRV.....	62
Tabela 15.	Conteúdo de C nos resíduos culturais e componentes do balanço de C para cada cultura.....	63

Tabela 16.	Variação média da densidade aparente do solo sob plantio convencional e plantio direto para PG e LRV.....	63
Tabela 17.	Estoque de carbono orgânico total - COT ($\pm$ desvio padrão) no tratamento preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e plantio direto (PD) até 1m de profundidade em PG.....	67
Tabela 18.	Estoque de carbono orgânico total - COT no tratamento preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) até 1m de profundidade em LRV...	69
Tabela 19.	Estoque de carbono orgânico total - COT nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pelo manejo até 1 m de profundidade, em PG e LRV.....	73
Tabela 20.	Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo até 1 m de profundidade em PG e LRV.....	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	O Reservatório global de C.....	16
2.2	Compartimentos do C no solo.....	17
2.3	Alterações do C em função do manejo do solo em ambientes subtropical e tropical.....	18
2.3.1	Ambiente subtropical – Estado do Paraná, Região dos Campos Gerais..	18
2.3.2	Ambiente tropical – Estado do Mato Grosso, Lucas do Rio Verde.....	20
3	PERDA DE CARBONO DO SOLO DEVIDO AO PREPARO CONVENCIONAL APÓS A CONVERSÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL EM ÁREA AGRÍCOLA EM REGIÃO TROPICAL E SUBTROPICAL.....	22
3.1	RESUMO.....	22
3.2	SUMMARY.....	23
3.3	INTRODUÇÃO.....	24
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.4.1	Descrição do meio físico, uso do solo e caracterização experimental.....	26
3.4.2	Conversão da vegetação natural em área agrícola, práticas culturais e rotação de culturas em cada área experimental (PG e LRV).....	27
3.4.2.1	Ponta Grossa (PG).....	27
3.4.2.2	Lucas do Rio verde (LRV).....	30
3.4.3	Fitomassa total (parte aérea e raízes), adição de C.....	32
3.4.4	Procedimento de amostragem do solo.....	33
3.4.5	Análises do solo.....	34
3.4.5.1	Análise química e granulométrica da fração argila para caracterização da área experimental.....	34

3.4.5.2	Compartimentos do carbono do solo: carbono orgânico total, carbono orgânico oxidável, carbono contido nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente, carbono recalcitrante, fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.....	36
3.4.5.2.1	Carbono orgânico Total (COT).....	36
3.4.5.2.2	Carbono orgânico oxidável (C-OX).....	36
3.4.5.2.3	Carbono contido nos polissacarídeos totais (C-PT).....	36
3.4.5.2.4	Carbono extraído com água quente (C-AQ).....	37
3.4.5.2.5	Carbono recalcitrante (C-R).....	38
3.4.5.2.6	Fracionamento granulométrico da matéria orgânica (FGMOS).....	38
3.4.5.2.7	Estoque de Carbono orgânico.....	39
3.4.6	Desenho experimental.....	40
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
3.5.1	Impacto do preparo do solo após a conversão da vegetação nativa em área agrícola no conteúdo e no estoque de C total.....	41
3.5.2	Sub-Tropical, Ponta Grossa-PG.....	41
3.5.3	Tropical, Lucas do Rio verde-LRV.....	43
3.5.4	Alterações nos compartimentos da MOS provocada pela preparo convencional após a conversão da vegetação natural em área agrícola...	46
3.5.4.1	Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM).....	46
3.5.5	Carbono oxidável, carbono nos nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente e carbono recalcitrante.....	50
3.5.5.1	Carbono oxidável –C-OX.....	50
3.5.5.2	Carbono contido nos polissacarídeos totais – C-PT e carbono orgânico extraído com água quente – C-AQ.....	53
3.5.5.3	Carbono recalcitrante – C-R.....	54
3.6	CONCLUSÕES.....	56

4	RECUPERAÇÃO DO CARBONO DO SOLO EM RESPOSTA AO PLANTIO DIRETO ASSOCIADO A SISTEMAS DE CULTURAS.....	57
4.1	RESUMO.....	56
4.2	SUMMARY.....	58
4.3	INTRODUÇÃO.....	59
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	60
4.4.1	Descrição da rotação de culturas e adição de C nos tratamentos em PG e LRV.....	60
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.5.1	Conteúdo e estoque de C afetado pelo uso do solo e sistemas de culturas.....	64
4.5.1.1	Sub-Tropical, Ponta Grossa-PG.....	64
4.5.1.2	Tropical, Lucas do Rio verde - LRV.....	67
4.5.2	Alterações nos compartimentos da MOS influenciado por sistemas de cultivo sob plantio direto.....	72
4.5.2.1	Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM).....	72
4.5.3	Carbono oxidável, carbono nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente e carbono recalcitrante.....	76
4.5.3.1	Carbono oxidável – C-OX.....	76
4.5.3.2	Carbono nos polissacarídeos totais C-PT e carbono orgânico extraído com água quente – C-AQ.....	78
4.5.3.3	Carbono recalcitrante – C-R.....	80
4.6	CONCLUSÕES.....	83
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	84
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

O fluxo anual de C entre o solo e a atmosfera representa mais de 1/10 de todo C existente na atmosfera. As mudanças nestes fluxos alteram significativamente a quantidade de C no solo e na atmosfera.

A preservação do C em solos sob vegetação natural, é o resultado do equilíbrio entre as adições pelos restos vegetais e animais e as perdas por oxidação. Quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de C podem reduzir abruptamente e as perdas podem ser superiores a 50 % nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e de até 20 % na profundidade de 1 m.

Em solos tropicais, essas perdas de C após a conversão da vegetação natural em áreas agrícolas são ainda mais elevadas do que em regiões subtropicais e temperadas. A retirada da vegetação nativa, seguida de cultivo do solo em preparo convencional (PC) resulta na redução dos estoques de C do solo e no aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. A ruptura dos agregados do solo proporcionada pelo PC expõe os compartimentos da MOS à oxidação do C devido ao rompimento das ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica devido a elevada atividade da biomassa microbiana.

O monitoramento do conteúdo de COT em diferentes tipos de uso do solo é essencial para a realização de inventários e estimativas de sequestro de C no solo. Neste contexto, as opções de manejo que adotam práticas conservacionistas e priorizam o aporte de C visando o acúmulo de C no solo tem proporcionado maior estabilidade para a agricultura. O sistema plantio direto (PD), através do não-revolvimento do solo e associado a rotação de culturas com a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo preenche essa lacuna contribuindo e ao mesmo tempo contribui para a redução do impacto no ambiente. A quantidade, a qualidade e a frequência da adição dos

resíduos vegetais que têm sido apontados como controladores da magnitude e velocidade das mudanças nos conteúdos e na qualidade do C. A comparação dos estoques de C em função do tipo de uso da terra e em diversos agroecossistemas, tem sido utilizada para avaliar o papel do solo como fonte de C ou sumidouro do CO₂ atmosférico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar: 1) as alterações nos compartimentos da matéria orgânica do solo provocadas pela conversão da vegetação nativa em área agrícola sob preparo convencional, 2) o potencial do plantio direto associado com os sistemas de culturas na recuperação e no acúmulo de C em função da adição dos resíduos culturais.

O presente trabalho está estruturado em dois capítulos: o primeiro aborda o impacto do preparo convencional após a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas nos compartimentos da matéria orgânica do solo, considerando o contraste entre o ambiente subtropical (Ponta Grossa-PR) e tropical (Lucas do Rio Verde-MT). No segundo capítulo é apresentado o potencial do plantio direto associado a sistemas de culturas na recuperação e no acúmulo de C no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O reservatório global de C

O estoque global de C distribui-se em cinco principais reservatórios: os oceanos, as formações geológicas que contêm C fóssil e mineral, os solos, a atmosfera, e a vegetação, os quais estão em equilíbrio, podendo a alteração em um deles determinar mudanças nos outros (LAL et al., 1995).

O compartimento de C do solo de acordo com Lal (1999) é o mais importante nos ecossistemas terrestres, conteúdo de 2500 Pg de C ($1\text{Pg} = 10^{15}\text{ g}$ ou 1 bilhão de toneladas), sendo aproximadamente quatro vezes superior ao C da vegetação e 3,3 vezes ao C da atmosfera.

As emissões globais de CO_2 pelo uso de combustíveis fósseis aumentaram cerca de 1000 vezes ao longo dos últimos dois séculos. Entre 1850 e 1998, as emissões antropogênicas foram estimadas em 270 ± 30 Pg C pela queima de combustíveis fósseis e 180 Pg C devido às mudanças no uso da terra, que inclui o desmatamento, o cultivo do solo e a conversão da vegetação natural em pastagens (STRASSMANN et al., 2008).

A retirada da vegetação original seguida de práticas de preparo do solo provoca após alguns anos elevada degradação do solo e acentuadas perdas da matéria orgânica com conseqüente redução da fertilidade do solo (MORAES et al., 2002).

A utilização de sistema convencional de cultivo com revolvimento da camada superficial do solo provoca a fragmentação dos macroagregados em unidades menores, favorecendo a exposição da fração lábil do C ao ataque da microbiota, direcionando o solo a atuar como fonte de CO_2 atmosférico (BRUCE et al., 1999; SIX et al., 1999).

Os processos que contribuem para o solo ser fonte e/ou dreno de C dependem principalmente das práticas de uso e manejo do solo associadas ao clima, a classe de solo e sua textura (CAST, 2004; FRANK et al., 2006).

2.2. Compartimentos do C no solo

Do ponto de vista do manejo do solo, a sugestão de Duxbury et al. (1989) alocando os diferentes estágios da dinâmica do C em quatro compartimentos ou “pools”, representando as possíveis alterações causadas pelo manejo:

- *“Pool” ativo ou lábil* – é constituído por compostos orgânicos facilmente oxidáveis derivados de fragmentos de vegetais recentes. É controlado principalmente pela adição de resíduos culturais, pelo clima e é fortemente afetado pelo tipo de manejo do solo. As modificações são rápidas e elevadas quantidades de C e N estão em função das transformações da biomassa microbiana;
- *“Pool” lentamente oxidável* – está relacionado com os macroagregados e é controlado pela mineralogia e pelos fatores agronômicos que interferem na agregação. Dentre estes os sistemas de manejo do solo afetam o tamanho desse reservatório;
- *“Pool” muito lentamente oxidável* – está relacionado com os microagregados e o fator controlador é a sua estabilidade em água. O sistema de manejo do solo tem um pequeno impacto nesse compartimento;
- *“Pool” passivo ou recalcitrante* – está relacionado com o C associado às partículas primárias do solo. É controlado pela mineralogia da fração argila, formando complexos organo-argílicos através decomposição microbial que reduz o C para formas elementares. Os sistemas de manejo do solo não influenciam esse compartimento.

O caminho do C oriundo dos resíduos culturais pode ser as frações lábeis e as estáveis da matéria orgânica do solo (MOS), e tem implicações no tempo de residência do C atmosférico (BAYER et al., 2004). O C considerado não protegido (MIELNICZUK, 1999) compreende a biomassa microbiana e a fração lábil, associada às partículas de solo com diâmetro superior a 53µm enquanto, o C protegido é aquele associado aos minerais com tamanho inferior a 53 µm.

O C não protegido é responsável pela agregação temporária e de acordo com Strumer et al. (2011), essa fração é facilmente afetada por perturbações do meio e possui um tempo de residência no solo entre 1 a 5 anos. Esta fração representa cerca de um terço do carbono orgânico total do solo. O manejo do solo influencia diretamente essas frações do C, sendo que as maiores alterações nos estoques de C ocorrem na camada superficial do solo de 0 até 20 cm (BAYER, et al., 2000, SÁ et al., 2001).

O C protegido é responsável pela agregação estável e pela grande capacidade de troca de cátions do solo, podendo permanecer no solo por até 100 anos (Mielniczuck, 1999). Esta fração também está relacionada com a quantidade e qualidade de resíduos depositados ao solo e ao tempo de remanecência, que é governado pelo clima, diferenciando entre regiões subtropicais e tropicais (BORTOLUZZI e ELTZ, 2000).

2.3. Alterações do C em função do manejo do solo em ambientes subtropical e tropical

2.3.1 Ambiente subtropical – Estado do Paraná, Região dos Campos Gerais

A Região dos Campos Gerais é definida como zona fitogeográfica situada no Segundo Planalto Paranaense, onde predominam campos com capões e matas ripárias

de floresta de araucária, destaca-se por substrato rochoso e relevo, que condicionam as formações vegetais presentes, Maack (1968).

O clima é classificado como Cfb de Köppen, que enquadra-se na faixa mesotermal onde a temperatura média do mês mais frio é de 13°C e o mês mais quente é de 21°C, denominado de subtropical úmido, com verões frescos, geadas severas demasiadamente frequentes e sem estação seca (BOGNOLA, 2004).

O material de origem rochoso predominante é o arenito, entretanto, apresenta também solo formado a partir de rochas sedimentares denominadas folhelhos e argilitos, a maior ocorrência das ordens de solos são os Latossolos, Cambissolos, Neossolos, Argissolos, Gleissolos e Organossolos (SÁ, 2007).

A tradição pecuária predominou até a década de 1960 e a partir dos anos 70 deu lugar ao avanço da agricultura mecanizada sobre os pastos naturais e o crescente uso das terras para a produção de grãos proporcionou desequilíbrio e esgotamento do solo (MELO et al., 2006).

A conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas na Região dos Campos Gerais no Estado do Paraná acarretou perdas de C em Latossolo Vermelho (após 10 anos em preparo convencional) de 1,1 Mg ha⁻¹ (SÁ et al., 2001). Os mesmos autores reportaram que a adoção do PD associado com a rotação de culturas resultou em ganhos de COT de 0,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na camada de 0-10 cm.

Em regiões subtropicais, há inúmeras situações de que a adoção do plantio direto associado à elevada adição de resíduos promove a recuperação do conteúdo de C em um curto período de tempo (BAYER e MIELNICZUK, 1997; AMADO, 1999). Experimentos de longa duração têm demonstrado que as taxas de acúmulo e sequestro de C variam de 0,1 a 1,66 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (BAYER et al., 2000, SÁ et al., 2001;

BERNOUX et al., 2006; CERRI et al., 2007; AMADO et al., 2006; BODDEY et al., 2010).

A contínua adição de resíduos é fator fundamental para manutenção do sistema e que estes apresentem velocidade de decomposição mais lenta, de tal forma que o aporte de C seja maior do que as perdas (LAL e LOGAN, 1995).

2.3.2. *Ambiente tropical – Estado do Mato Grosso, Lucas do Rio Verde*

A região dos cerrados contempla uma área de aproximadamente 200 Mha (BUSTAMANTE et al., 2006) e representa 23 % do território nacional e encontra-se em plena expansão da fronteira agrícola no Brasil.

A agricultura desenvolveu-se com base no arroz de sequeiro e da pastagem extensiva, e com o passar dos anos se transformou no principal polo de produção de soja destinados a produzir excedentes exportáveis. Entretanto, a expansão da monocultura de soja ocasionou severo impacto nos solos dessa região (KLINK e MACHADO, 2005; RESCK, 1998) devido ao uso intensivo do preparo causando alterações na estrutura do solo, e associados com condições climáticas (elevada precipitação pluviométrica – aproximadamente 2000 mm distribuídos em apenas seis a sete meses) provocou a redução do conteúdo original de MOS.

A reversão do ciclo de degradação do solo e do ambiente iniciou-se com a adoção do PD e em 2000/2001 aproximadamente 4,9 milhões de ha⁻¹ já haviam sido cultivados neste sistema de manejo (ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 2004).

Estudos reportados na década de 90 (CORAZZA et al., 1999) mostraram que o cultivo de soja com base no preparo do solo com grade pesada ocasionaram perdas de 8,3 Mg ha⁻¹ em 12 anos em relação ao solo sob vegetação natural de cerrado. Em

contraste, o solo há 15 anos em PD com elevado aporte de C promoveu um ganho de 21,4 Mg ha⁻¹ de C, o que corresponde a uma taxa anual de acúmulo no solo de 1,43 Mg ha⁻¹ de C.

Outros autores (BERNOUX et al., 2006; BAYER, et al., 2006; CERRI et al., 2007) constaram taxas variando de -0,5 a 0,9 t ha⁻¹ ano⁻¹. Essa variação está associada à enorme variação nos aportes descrito nos experimentos de longa duração reportados pelos autores acima.

O maior desafio para essa região é desenvolver sistemas de produção economicamente viáveis e ao mesmo tempo contemplem a introdução de espécies que produzam elevadas quantidades de resíduos para compensar as taxas de decomposição, que perdeu 5 a 10 vezes mais que em regiões temperadas (LAL e LOGAN, 1995).

3. PERDA DE CARBONO DO SOLO DEVIDO AO PREPARO CONVENCIONAL APÓS A CONVERSÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL EM ÁREA AGRÍCOLA EM REGIÃO TROPICAL E SUBTROPICAL

3.1 RESUMO

A conversão da vegetação natural e o uso contínuo do preparo do solo é uma prática que acarreta em grandes perdas de C devido ao aumento da decomposição da MOS. O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto do preparo convencional após conversão da vegetação nativa em área de produção agrícola em ambiente subtropical e tropical sobre os compartimentos da MOS. Esse estudo foi realizado em experimentos de longa duração em dois locais: 1) Na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) Ponta Grossa-PR e denominado PG; 2) Na estação experimental da Fundação Rio Verde, Lucas do Rio Verde em Mato Grosso e denominado LRV. O desenho experimental em ambos locais é constituído de faixas com 3 repetições. A amostragem do solo em ambos locais foi nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm e realizadas em setembro e outubro de 2009, respectivamente. Para a avaliação dos compartimentos da matéria orgânica foram determinados o conteúdo de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico oxidável (C-OX), carbono nos polissacarídeos totais (C-PT), carbono orgânico extraído com água quente (C-AQ), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e carbono recalcitrante (C-R). Em PG o COT da VN apresentou elevada estratificação com o aumento da profundidade e diminuindo acentuadamente ao longo do perfil representando uma diminuição de 26% do COT na camada de 0-20 cm. Em LRV o estoque médio de COT na profundidade de 0-20 cm reduziu de 48,0 Mg ha⁻¹ na VN para 33,8 Mg ha⁻¹ no PC. O conteúdo e o estoque de C-AQ e C-PT foram sensivelmente afetados pela conversão de VN para PC na camada superficial em ambos os locais.

Palavras chave: Oxidação da matéria orgânica, agroecossistema, estoque de carbono

3.2 SUMMARY

The conversion of natural vegetation and the continued use of tillage is a practice that leads to large losses of C due to increased decomposition of SOM. The aim of this study was to evaluate the impact of conversion of native vegetation on agricultural land (sub-tropical and tropical) based on conventional tillage system on the shares of TOC. This study was conducted in long-term experiments and in two places: 1) experimental station of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) Ponta Grossa-PR and called PG, 2) experimental station Foundation of Rio Verde, in Lucas do Rio Verde Mato Grosso and called LRV. The experiment design at both sites consists of tracks with three repetitions. Soil sampling at both sites were at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm and held in September and October 2009 respectively. For the assessment of organic matter pools were analyzed for total organic carbon content (TOC), oxidizable organic carbon (C-OX), total carbon in polysaccharides (C-PT), organic carbon extracted with hot water (C-HW), carbon particulate organic (POC), organic carbon associated with minerals (MAOC) and recalcitrant carbon (CR). In the PG in NV for TOC was highly stratified in depth, with $80.7 \text{ g kg}^{-1} \text{ C}$ decreased sharply along the profile to 30.5 g C kg^{-1} at 10-20 cm depth, representing a decrease of 26 % of TOC in 41 years after conversion. LRV in the average stock of TOC in the 0-20 cm depth decreased from 48.0 Mg ha^{-1} in NV to 33.8 Mg ha^{-1} on the CT. Contents of C-HW and C-PT were affected by the conversion of NV in CT on the surface at both sites.

Key words: Oxidation of organic matter, agroecosystem, carbon stock

3.3 INTRODUÇÃO

A conversão da vegetação natural em área agrícola seguida pelo uso contínuo do preparo do solo, altera em maior ou menor escala os atributos químicos, físicos e biológicos dependendo do clima, da classe de solo, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000).

Os sistemas agrícolas que adotam o preparo convencional, caracterizados pelo intenso revolvimento do solo contribuem para as expressivas perdas de C do solo resultando em degradação ambiental e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção (RASMUSSEN et al., 1998; MIELNICZUK et al., 2003).

Em determinadas regiões do Brasil, a perda de C pode ser ainda mais intensa. Em solos do bioma Cerrado a utilização da mecanização pesada e as aplicações de elevadas quantidades de fertilizante aceleraram o processo de oxidação do C. Em regiões subtropicais essas perdas são menores, embora também sejam expressivas. (TORMENA et al., 2004).

Battle-Bayer et al. (2010) relatou que a perda de C devido à conversão de vegetação nativa de Cerrado para área agrícola proporcionou a perda de C entre -0,3 a 0,1 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Zinn et al. (2005) não observaram alterações significativas de estoques C para Latossolos com <500 g kg⁻¹ de argila e Latossolos com > 500 g de argila kg⁻¹, para sistemas de uso do solo contrastado no Cerrado.

Em contraste, Silva et al. (1994) relataram perdas de 41% do estoque de C original em solos argilosos, 76% em solos argilosos a solos com textura média e 80% em solos arenosos após cinco anos de conversão da vegetação natural em área para o cultivo de soja.

Bayer et al. (2006) mostrou perdas de C de 15% sob declive de 12%, seguido de preparo convencional por mais de 20 anos para um solo com textura média (entre 280 a 350 g kg⁻¹ de argila). Tais perdas são influenciadas principalmente pelo clima, pela classe de solo e sua textura. Em regiões tropicais, as temperaturas elevadas, os elevados índices pluviométricos proporcionam em consequência a intensa atividade microbiana resultando na rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo, quando comparada com a região subtropical (SILVA e MACHADO, 2000; MIELNICZUK et al., 2003). Séguy et al. (2006) reportaram a perda média de 1,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ após a conversão de uma vegetação nativa de Cerrado em monocultura de soja por 10 anos em preparo convencional em experimento de longa duração em Lucas do Rio Verde, MT cuja precipitação anual situa-se em 1950 a 2100 mm.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto do preparo convencional após a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas sobre os compartimentos da matéria orgânica do solo.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Descrição do meio físico, uso do solo e caracterização experimental

Os experimentos de campo estão situados em dois locais: (1) Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, Ponta Grossa, PR e doravante chamado de **PG**; (2) Estação Experimental da Fundação Rio Verde, localizada em Lucas do Rio Verde, MT e doravante chamado de **LRV** (Figura1).

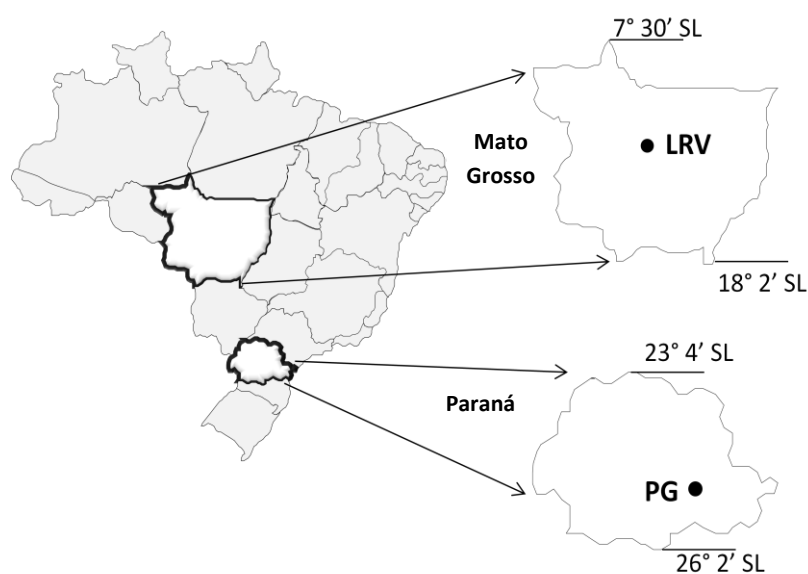


Figura 1: Localização dos experimentos com sistemas de preparo do solo: PG = Ponta Grossa, PR e LRV, Lucas do Rio Verde, MT.

A descrição detalhada da localização, clima, classificação do solo, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Locais, classificação do solo e descrições do clima.

Descrição	PG	LRV
Coordenadas geográficas	25°09'S e 50°09'W	13°00'S a 55°58'S
Altitude	865 m	380 m
Tipo de solo (US Soil taxonomy)	Rhodic Hapludox	Rhodic Haplustox
Tipo de solo (classificação FAO)	Red Latosol, Oxisol, TypicHapludox	Red Yellow Latosol Typic Haplustox
Declive	< 4%	Plano, < 1%
Clima	Mesotérmico, Verão e inverno úmido, inverno frio	Tropical úmido
Temperatura	18.5°C	25°C
Precipitação anual	1545 mm, bem distribuídas durante todo o ano, sem período de seca	1950 mm, distribuídos em 6-7 meses, com período de seca de cinco meses

3.4.2. Conversão da vegetação natural em área agrícola, práticas culturais e rotação de culturas em cada área experimental (PG e LRV)

3.4.2.1. Ponta Grossa (PG)

A vegetação natural da região (vegetação campestre a estepe gramíneo-lenhosa), representa o tratamento de referência denominado **VN**. Em 1967, parte desta foi convertida para pastagem através de uma aração na profundidade de 20 cm, seguida de gradagem. Após 11 anos consecutivos com pastagem, esta área foi convertida em área de cultivo de grãos seguindo a seqüência de três anos com sucessão de arroz e soja (Figura 2).

Em 1981, foi iniciado o plantio convencional (PC), com revolvimento do solo na camada de 0-20 cm utilizando um arado e posterior gradagem para o nivelamento da superfície. Após a colheita de verão e de inverno é utilizado uma grade leve,

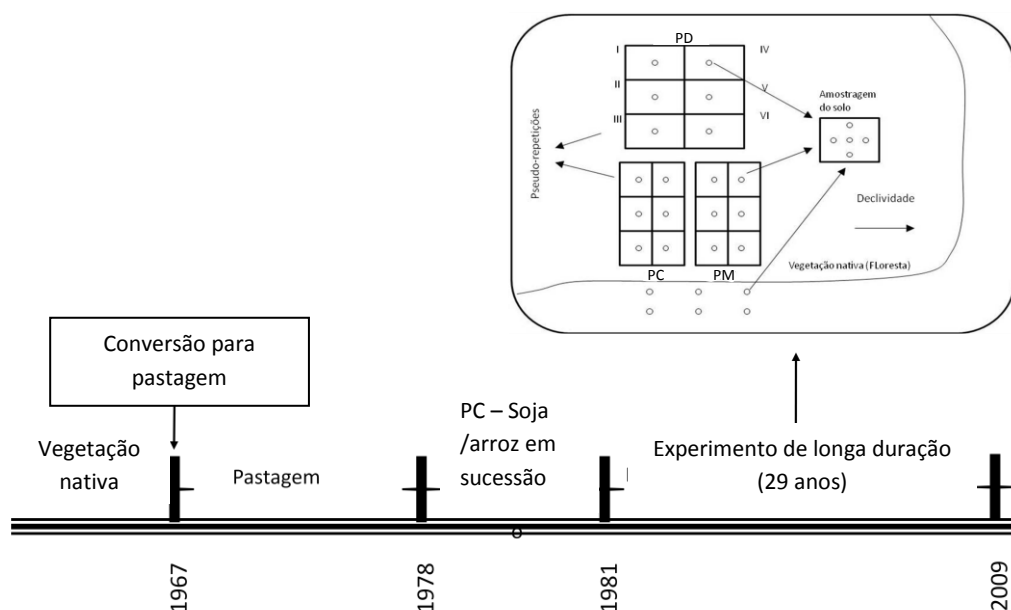


Figura:2. Histórico de uso do solo e lay-out do experimento na área experimental do IAPAR.

aproximadamente 20 cm de profundidade. O desenho experimental configura um experimento em faixas com repetições internas (Figura 2). As faixas são constituídas por: Preparo convencional (PC) – após a colheita de verão e inverno é realizada uma aração na profundidade de 20 cm seguida de duas gradagens para nivelar o terreno; Preparo mínimo (PM) – constituído por uma escarificação na profundidade de 25 cm seguida de uma gradagem; Plantio direto (PD) – constituído pelo plantio com semeadoras cujo revolvimento do solo restringe-se somente a linha de semeadura. Os tratamentos PC e PM correspondem as dimensões da faixa de 50 x 200m e as repetições de 50 x 65m. No tratamento PD as dimensões da faixa é 100 x 100m e as repetições internas de 30 x 30m.

Os detalhes das sequências das culturas para o tratamento PC e PD são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Histórico das culturas de verão e (-) de inverno em PG

Ano	Sequência de culturas	Ano	Sequência de culturas
81/88	^a Soja – ^b Trigo	98/99	Soja – Trigo
88/89	Soja – Trigo	99/00	Milho – Aveia + ^f Ervilhaca
89/90	Soja – ^c Aveia	00/01	Milho – Aveia
90/91	Soja – Aveia	01/02	Soja – Aveia
91/92	^d Milho – Trigo	02/03	Soja – Aveia + Ervilhaca
92/93	Soja – Aveia	03/04	Milho – Aveia
93/94	Soja – ^e Tremoço	04/05	Soja – Aveia
94/95	Milho – Aveia	05/06	Milho – Aveia
95/96	Soja – Trigo	06/07	Soja – Aveia
96/97	Soja – Aveia	07/08	Milho – ^g Centeio
97/98	Milho – Aveia	08/09	Soja – Ervilhaca

^a*Glycine max*, ^b*Triticum aestivum*, ^c*Avena sativa*, ^d*Zea mays*, ^e *Lupinus angustifolius*, ^f *Vicia villosa*, ^g*Secale cereale*

A análise dos óxidos deste solo foi realizada pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Todos os óxidos (Si, Al, Fe, Ca, Mg e K) foram determinados no horizonte B do solo da área sob vegetação nativa (Tabela 3).

Tabela 3: Representação da porcentagem de óxidos em PG.

Óxido	(%)
SiO ₂	21.74
Al ₂ O ₃	36.39
Fe ₂ O ₃	13.13
CaO	1.36
MgO	0.27
K ₂ O	0.36

3.4.2.2. Lucas do Rio verde (LRV)

A vegetação natural antes da conversão para a agricultura era constituída pelo bioma Cerrado, com uma estação seca pronunciada entre maio a setembro.

De 1988 a 2000, após um (1) ano de cultivo de arroz, a soja passou a ser cultivada sob PC (aração com uma grade de disco) seguido por um pousio durante o inverno, com uma exceção no ano 2000, que teve uma safra de inverno o milho após a soja (Tabela 4).

Tabela 4: Histórico das culturas de verão e (-) de inverno em LRV.

Período de cultivo e culturas	
81/88	Conversão do cerrado para agricultura
87/88	^a Arroz – Pousio
88/89	^b Soja – Pousio
89/02	Soja – ^c Milho
02/09	Soja – ^d Algodão
^a <i>Oryza sativa</i> ; ^b <i>Glycine Max</i> ; ^c <i>Zea mays</i> ; ^d <i>Gossypium hirsutum</i>	

De 1988 ao inverno de 2001 todos os campos eram manejados em setembro, com uma grade de discos seguido de uma gradagem niveladora. A partir do verão de 2001 a 2009, o manejo foi sempre após a safra de algodão.

Em 2001, uma área de 54.500 m² foi selecionada para iniciar o experimento e dividida em 4 macroparcelas, cada uma com 216 m × 42 m totalizando 9.072 m² (Figura 3).

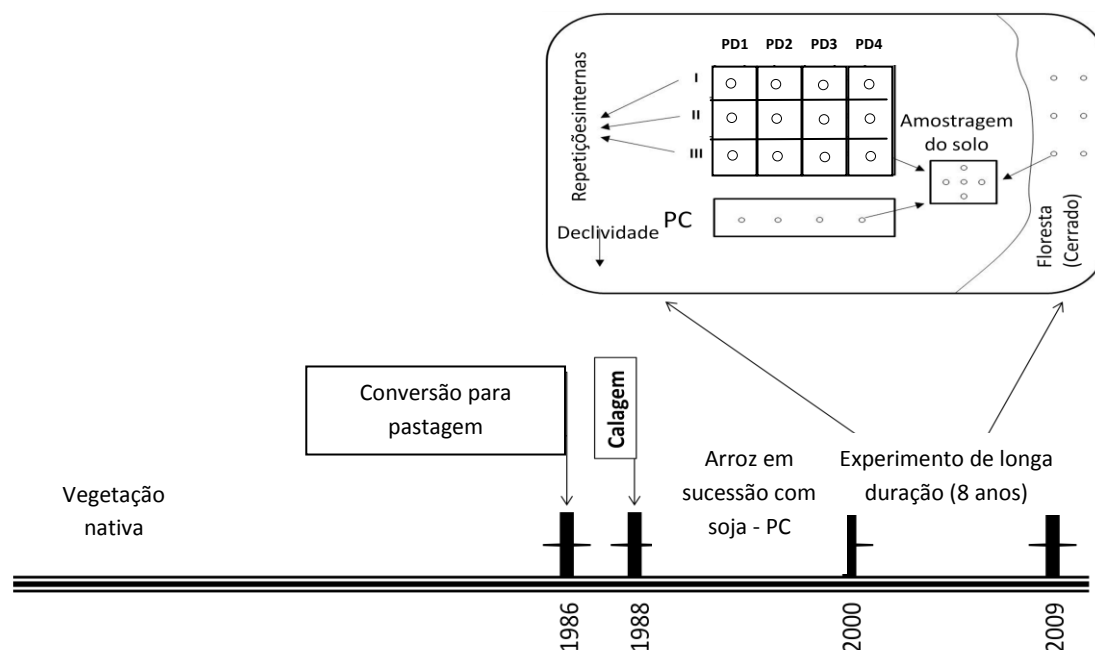


Figura 3: Histórico de uso do solo e lay-out do experimento na área experimental da Fundação de Lucas do Rio Verde.

Assim, todas as parcelas foram cultivadas por mais de 10 anos sob PC, antes de sua conversão em PD baseados em sistemas de cultivo que será abordada no próximo capítulo.

A análise dos óxidos deste solo foi realizada pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, (Tabela 5). Todos os óxidos (Si, Al, Fe, Ca, Mg e K) foram determinados no horizonte B do solo da área sob vegetação nativa

Tabela 5: Representação da porcentagem de óxidos em LRV.

Óxido	(%)
SiO ₂	23.25
Al ₂ O ₃	38.95
Fe ₂ O ₃	8.96
CaO	1.31
MgO	0.03
K ₂ O	0.03

3.4.3. Fitomassa total (parte aérea e raízes) e adição de C

A entrada anual de C oriundo dos resíduos culturais (parte aérea e raízes) em cada tratamento foi baseada no índice de colheita (IC) da produção de grãos e na relação raiz/parte aérea durante os anos de experimento. O conteúdo de C na matéria seca foi determinado em cada espécie e utilizado para o cálculo da quantidade de C adicionada, segundo dados de pesquisa realizados por SÁ et al., 200, tabela 6.

Tabela 6: Produção de matéria seca - M.S. (Mg ha^{-1}) e a média de deposição de C (Mg ha^{-1}) nos resíduos parte aérea e raízes para as culturas principais e culturas de cobertura sob PC.

Cultura	PG	LRV
Parte aérea e raízes (M.S. - Mg ha^{-1})		
Soja	1.68	6.16
Milho	9.28	9.84
Trigo	2.11	
Aveia	4.66	
Aveia + Ervilhaca	5.05	
Ervilhaca	2.17	
Centeio	3.63	
Tremoço	2.93	
Algodão		2.41
Entrada total de M.S. (Mg ha^{-1})	197.69	80.72
Entrada média de M.S. anual (Mg ha^{-1}) ^a	6.82	10.09
Entrada de C pela M.S.		
Soja	0.71	2.16
Milho	4.22	4.41
Trigo	0.95	
Aveia	2.01	
Aveia + Ervilhaca	2.11	
Ervilhaca	0.81	
Centeio	1.63	
Tremoço	1.24	
Algodão		0.99
Total de entrada de C (Mg ha^{-1}) 2001 – 2009	86.09	31.06
Média de entrada de C por ano (Mg ha^{-1}) ^a	2.97	3.88

^aMédia anual para toda a duração de cada experimento, considerando o número de ocorrências de cada cultura em cada rotação.

A fitomassa seca da parte aérea da segunda safra (aveia, ervilhaca) nos sistemas, foi medida durante o primeiro ano do experimento; e as raízes foram estimadas com base em estudos anteriores (média de C encontrado na parte aérea e raiz para cada cultura) realizados por Séguy et al. (1998) e Sá et al. (2001) apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Conteúdo de C nos resíduos culturais e componentes do balanço de C para as culturas principais e culturas de cobertura.

As culturas principais e culturas de cobertura.			
Culturas	Conteúdo de C nos resíduos culturais (g kg ⁻¹)	Componentes do balanço de C	
		Fitomassa aérea- Relação Grão/P. Aérea ^a	Fitomassa raiz- Relação Grão/raiz ^b
<i>Subtropical</i>			
Soja	395	0.89	0.20
Trigo	450	0.95	1.15
Milho	455	1.10	0.25
Aveia	432	1.00	0.23
Ervilhaca	375	1.00	0.14
Tremoço		1.00	0.17
Centeio	450	1.00	0.22
<i>Tropical</i>			
Soja	353	1.59	0.19
Milho	448	1.57	0.24
Milho ^{2º} cultivo	448	2.21	0.23
Girassol		2.23	0.21
Sorgo	444	1.68	0.26
Pé de galinha	385	1.00	0.36
<i>C. spectabilis</i>		1.00	0.26
<i>B. ruziziensis</i>	443	1.00	0.38

^aMatéria seca determinada com o índice de colheita;

^bMatéria seca determinada como a razão aérea e raiz

3.4.4. Procedimento de amostragem do solo

A amostragem foi realizada em setembro e outubro de 2009 nos locais PG e LRV, ambas dentro de cada situação de uso do solo. Em PG, as amostras de solo foram coletadas quando o experimento completou 29 anos e antes da cultura de verão nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80 -100 cm de profundidade. Em LRV, as seis repetições na VN e as três repetições no PC e nas faixas com PD, foram

coletadas no final do período de oito anos nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

As amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo foram coletadas em anéis de aço com auxílio de um amostrador em minitrincheiras com dimensões de 20 cm x 50 cm (área) x 100 cm (profundidade). Os anéis de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm estavam acoplados a um amostrador, para a introdução e retiradas dos anéis, em cada camada do solo.

Paralelamente a coleta de amostras de densidade do solo, coletou-se as amostras deformadas. As amostras deformadas foram secas em estufa ajustada para 40°C e posteriormente peneiradas em tamiz de 2 mm, homogeneizando-as completamente. As amostras indeformadas foram secas à temperatura de 105°C.

3.4.5. Análises do solo

3.4.5.1. Análise química, granulométrica da fração argila para caracterização da área experimental

O pH do solo foi determinado através de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (1:2,5 solo/solução, v/v). O Al^{3+} trocável, o Ca^{2+} e o Mg^{2+} foram extraídos com KCl neutro a 1 mol L^{-1} e o K^+ e o P com Mehlich-1, a acidez trocável foi determinada por titulação com $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$, todas as determinações foram realizadas para as camadas 0-20 e 20-40 cm (Tabela 8).

Tabela 8: Análise química e conteúdo de argila dos locais em estudo.

Atributo químico e físico	Local e uso do solo							
	PG				LRV			
	VN	PC	VN	PC	VN	PC	VN	PC
	0-20 cm		20-40 cm		0-20 cm		20-40 cm	
pH (CaCl ₂ , 0.01M)	4,22	4,53	4,01	4,55	3,84	5,07	4,00	4,57
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,53	0,44	2,12	0,50	1,38	0,06	0,60	0,27
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	12,91	9,95	14,34	9,54	9,94	5,20	7,20	5,68
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,46	3,85	2,50	2,95	0,42	2,83	0,10	0,62
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,31	1,39	0,90	1,15	0,33	0,89	0,10	0,40
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,23	0,42	0,42	0,13	0,08	0,27	0,01	0,11
P (mg dm ⁻³)	6,83	6,68	6,61	2,38	0,83	40,62	0,00	0,03
CTC (cmol _c dm ⁻³)	18,90	15,61	18,17	13,77	10,77	9,19	7,41	6,80
Conteúdo de argila (g kg ⁻¹)	586	679	673	713	398	378	437	425

3.4.5.2. Compartimentos do carbono do solo: carbono orgânico total, carbono orgânico oxidável, carbono contido nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente, carbono recalcitrante, fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.

3.4.5.2.1. Carbono orgânico Total (COT)

A determinação do C-total foi nas amostras integrais e nas FGMOS foi utilizando-se 125 mg de solo finamente moído em grau de porcelana e seco a 40°C. O conteúdo de carbono orgânico total (COT) pelo método da combustão seca, utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

3.4.5.2.2. Carbono orgânico oxidável (C-OX)

As amostras de solo foram em estufa de circulação de ar regulada para 40°C, homogeneizadas, moídas e passadas em peneiras de 100 mesh. OC-OX foi determinado pelo método Walkley-Black, 1934 (adaptado) cuja oxidação foi realizada com o dicromato de potássio em meio ácido (H_2SO_4 , 96%) e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, descrito por Nelson e Sommers (1996).

3.4.5.2.3. Carbono contido nos polissacarídeos totais (C-PT)

A determinação do C-PT foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Lowe (1993). Para isso, utilizou-se 0,5 g de solo transferido em erlenmeyer de 125 mL, ao qual foram adicionados 4 mL de H_2SO_4 12 mol L^{-1} . Depois de 2h de repouso em temperatura ambiente, foram adicionados 92 mL de água destilada para a diluição da solução de H_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Na sequência os frascos foram colocados em banho-

maria por 2 horas e 30 minutos, com temperatura de aproximadamente 95°C. Após resfriamento o hidrolisado foi filtrado e o volume foi completado para 125 mL com H₂O deionizada.

Pipetou-se uma alíquota de 1 mL e transferida para um tubo de ensaio, seguido da adição de 1 mL de solução de fenol a 5% (massa/volume) e de 5 mL de H₂SO₄ concentrado (96%, massa/massa). Depois de 10 min de repouso, os tubos de ensaio foram colocados em bandeja com água (25-30°C) por 25 min.

As soluções tiveram suas absorbâncias medidas em um espectrofotômetro a 490 nm. A conversão dos valores da absorbância em polissacarídeos, em g kg⁻¹, foi realizada a partir de uma curva padrão construída com valores de absorbância e concentrações iniciais conhecidas de glicose.

3.4.5.2.4. Carbono extraído com água quente (C-AQ)

A determinação do conteúdo do C-AQ foi adaptada de Ghani et al. (2003). As amostras de solo seco contendo 3 g foram colocadas em tubos de centrifugação de 15 ml (polipropileno). Estes receberam 9 ml de água deionizada, agitados manualmente por 10 segundos para garantir total suspensão no meio de extração e submetidos a um período de 16 horas em estufa a 80°C.

Após esse período os tubos foram novamente agitados manualmente e centrifugados por 10 minutos a 4000 rpm. O sobrenadante obtido, 6 ml de cada tubo foi pipetado e transferido em erlenmeyer, posteriormente analisado por oxidação via úmida modificado de Walkley e Black (1934) e descrito por Nelson e Sommers (1996).

3.4.5.2.5. Carbono recalcitrante (C-R)

O procedimento foi adaptado Helfrich, et al. (2007), o qual um grama de massa seca de solo foi umedecido com 10 ml de água destilada durante 10 minutos. Em seguida, 30 ml de H₂O₂ (10%) foi adicionado e a oxidação foi realizada a 50 °C em banho-maria. Todo dia cada amostra foi agitada manualmente para garantir uma boa oxidação e H₂O₂ adicionado, quando necessário.

O período de oxidação utilizando H₂O₂ como agente oxidante, requer vários dias e é altamente dependente da textura, da mineralogia, do conteúdo de C orgânico. A oxidação foi interrompida quando o borbulhamento nos frascos cessou. Posteriormente a amostra foi enxaguada três vezes com 30 ml de água destilada e seca a 40 °C em estufa e moída finamente para a determinação do C por combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA.

3.4.5.2.6. Fracionamento granulométrico da matéria orgânica (FGMOS)

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FGMOS) foi realizado de acordo com o método descrito por Feller (1994) e adaptado por Sá et al. (2001). As amostras integrais foram secas em estufa ajustada para a temperatura de 40°C, destorroadas, homogeneizadas e tamizadas em peneira de 2mm. Em um recipiente plástico de 1 L pesou-se 40 g da amostra e adicionou-se 100 mL de H₂O deionizada e 1,00 g de hexametáfosfato nas amostras de PG e 0,75 g nas amostras de LRV, cada recipiente recebeu também três esferas de vidro. Após agitação manual de 10 segundos, os recipientes foram mantidos em refrigerador durante 16 h. Posteriormente os fracos agitados durante 6 h em um agitador de mesa horizontal na frequência de 120 rpm para PG e LRV.

O solo em suspensão foi passado em peneira de 53 μm e o material retido representa a fração particulada (COP, 53-2000 μm). O material que passou pela peneira de 53 μm representa a fração do C orgânico associada aos minerais (MAOC, < 53 μm) foi transferido para uma proveta de 1 L e adicionado 1 g de cloreto de cálcio (CaCl_2) (agente flocculante). Após a completa sedimentação do material, o sobrenadante foi sifonado com bomba a vácuo e o solo foi seco em estufa a 40 °C. Nas frações COP e COAM foram determinadas o C total por combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA.

3.4.5.2.7. Estoque de Carbono orgânico

Os estoques de cada compartimento foram estimados até 1 m de profundidade, com base na massa equivalente de solo conforme reportado por (ELLERT e BETTANY, 1995). Esse procedimento teve como objetivo corrigir as diferenças de densidade entre os tipos de uso do solo (Tabela 9). Esse cálculo da camada de solo equivalente foi descrito e detalhado posteriormente por (CARVALHO et al., 2009) como segue: (i) a média ponderada da densidade nas camadas do solo respectivas na área de referência (V_N , M_{CE}) é calculado; (ii) a média ponderada da densidade do solo nas camadas respectivas da área experimental (PC, PD, PM, ($M_{\text{área}}$) é calculado; e (iii) a camada equivalente para a área é determinado de acordo com a equação (1), em que o valor 5 está relacionado com a profundidade de 0-5 cm da camada equivalente (CE).

Equação 1:

$$\text{Camada de Solo Equivalente (cm)} = M_{CE} / M_{\text{área}} \times 5$$

Para cada camada de solo, os estoques de C (Mg ha^{-1}), foram calculados pela multiplicação do conteúdo do elemento (%) pela densidade do solo (g cm^{-3}) e com a

espessura da camada equivalente de solo (cm). O saldo de C no solo é calculado como a diferença entre estoques no solo sob VN e sob a área experimental, dividido pelo número de anos de estabelecimento para amostras de solo do experimento.

Tabela 9: Variação média da densidade aparente ($\pm$ desvio padrão) do solo sob vegetação nativa e plantio convencional para PG e LRV.

Profundidade de amostragem (cm)	Densidade do solo (Kg dm^{-3})					
	PG			LRV		
	VN	PC	Valor do <i>P</i>	VN	PC	Valor do <i>P</i>
0-5	1.04 $\pm$ 0.09	1.01 $\pm$ 0.05	0.0001	1.00 $\pm$ 0.10	1.20 $\pm$ 0.14	0.0001
5-10	0.95 $\pm$ 0.12	1.05 $\pm$ 0.08	0.079	1.05 $\pm$ 0.09	1.31 $\pm$ 0.02	0.0001
10-20	0.97 $\pm$ 0.13	1.10 $\pm$ 0.04	0.161	1.13 $\pm$ 0.06	1.39 $\pm$ 0.04	0.0001
20-40	0.97 $\pm$ 0.13	1.06 $\pm$ 0.10	0.554	1.14 $\pm$ 0.05	1.35 $\pm$ 0.08	0.0001
40-60	0.99 $\pm$ 0.14	0.95 $\pm$ 0.04	0.519	1.10 $\pm$ 0.02	1.27 $\pm$ 0.06	0.002
60-80	0.97 $\pm$ 0.06	0.95 $\pm$ 0.04	0.046	1.07 $\pm$ 0.05	1.23 $\pm$ 0.05	0.003
80-100	0.96 $\pm$ 0.06	0.98 $\pm$ 0.05	0.135	1.12 $\pm$ 0.02	1.25 $\pm$ 0.07	0.001

3.4.6. Desenho experimental

O delineamento experimental foi constituído por faixas com repetições internas. Em PG e LRV foram realizados dois procedimentos de análise estatística: (1) comparação entre VN e PC; (2) comparação entre os tratamentos PC, PM e PD.

Submeteu-se à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade ($P=0,05$), através do programa SISVAR – versão 5.1 (FERREIRA, 1999).

As comparações foram realizadas para cada profundidade do solo. Os resultados que apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade no teste F, foram considerados estatisticamente diferentes e comparados utilizando o teste de médias de Student (LSD). A taxa de acúmulo de C foi calculada pela diferença entre os estoques de C no solo entre o PC e o PD dividido pelo número de anos de existência do experimento considerando o momento da amostragem.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Impacto do preparo do solo após a conversão da vegetação nativa em área agrícola no conteúdo e no estoque de C total

3.5.2. Sub-Tropical, Ponta Grossa-PG

O conteúdo de C diminuiu significativamente nas camadas mais profundas do perfil caracterizando a distribuição estratificada principalmente na VN. (Figura 4). O COT na camada de 5 cm do solo em PG foi significativamente superior ($P<0,05$) noVN do que no PC.

A distribuição do conteúdo de COT na VN apresentou elevada estratificação ao longo do perfil ($80,7 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0-5 cm e $16,8 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 80-100 cm) confirmando resultados reportados por Sá e Lal (2009) para essa região.

O PC reduziu a estratificação de COT e apresentou a uniformidade entre a camada de 0 a 20 cm devido às perdas de C pela oxidação em função das sucessivas arações e gradagens nessa camada. A comparação do conteúdo de COT da VN com o PC demonstrou que a diferença estatisticamente significativa e restringiu-se a camada de 0 a 10 cm e ao longo do perfil não foi constatado essa diferença. (Figura 4).

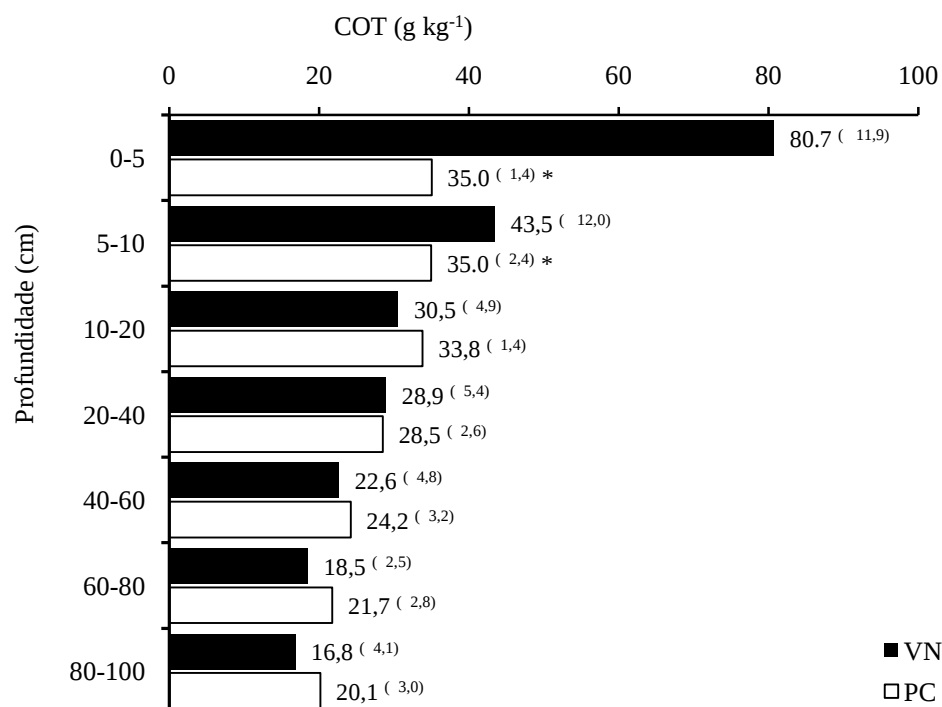


Figura 4: Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre a VN e o PC em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

As mudanças no uso do solo teve um efeito significativo sobre os estoques de COT na camada 0-20 cm, sendo que no solo sob VN encontrou-se 24,6 Mg ha⁻¹ a mais de COT que no PC (Tabela 10), representando uma diminuição de 26% do COT em 41 anos após a conversão da VN em área cultivada, sendo 10 anos de pastagem e mais de 29 anos com uso de arado. Esta diminuição representa uma perda de aproximadamente de 0,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para este solo até a camada 0-20 cm.

Considerando o perfil do solo até 1 m de profundidade, o menor efeito relativo do PC sobre o COT (-8,5Mg C ha⁻¹ em comparação com VN) deve ser observado em relação com a natureza e ao conteúdo dos minerais e a melhor estabilização do COT, principalmente na camada do solo de 0-20 cm de profundidade.

Tabela 10: Estoque de carbono orgânico total - COT ($\pm$ desvio padrão) até 1 m de profundidade em PG e LRV.

Profundidade de amostragem (cm)	Local								
	PG					LRV			
	VN		PC		Valor do P	VN		PC	Valor do P
	Mg ha ⁻¹					Mg ha ⁻¹			
0-20	92.0 $\pm$ 14.2	a	67.4 $\pm$ 3.6	b	0.0001	48.0 $\pm$ 6.3	a	33.8 $\pm$ 2.8	b
20-40	53.7 $\pm$ 10.4	a	52.9 $\pm$ 2.3	b	0.376	27.7 $\pm$ 2.8	a	21.8 $\pm$ 1.6	b
40-60	44.1 $\pm$ 5.6	b	48.1 $\pm$ 8.3	a	0.177	20.9 $\pm$ 2.5	a	17.3 $\pm$ 0.6	b
60-80	35.9 $\pm$ 6.7	b	42.1 $\pm$ 5.5	a	0.580	17.7 $\pm$ 2.4	a	15.0 $\pm$ 0.7	b
80-100	32.3 $\pm$ 7.3	b	39.0 $\pm$ 7.1	a	0.177	16.0 $\pm$ 0.9	a	16.2 $\pm$ 1.9	a
0-100	258.0 $\pm$ 31.5	a	249.5 $\pm$ 21.5	b	0.145	130.3 $\pm$ 13.4	a	104.1 $\pm$ 3.4	b

Letras minúsculas diferentes na linha entre os locais diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

3.5.3. Tropical, Lucas Do Rio Verde-LRV

O conteúdo de C também reduziu com a profundidade do solo apresentando uma distribuição diferenciada entre os usos tipos de uso do solo (Figura 5). O conteúdo de C na camada de 0-5 cm na VN foi de 38,2 g kg⁻¹ C, superior a duas vezes ao sistema PC, porém essa diferença foi inferior para a camada de 5-10 e 10 a 20 cm de profundidade. No intervalo de 80-100 cm de profundidade estes conteúdos atingiram 7,1 g kg⁻¹ C (Figura 5).

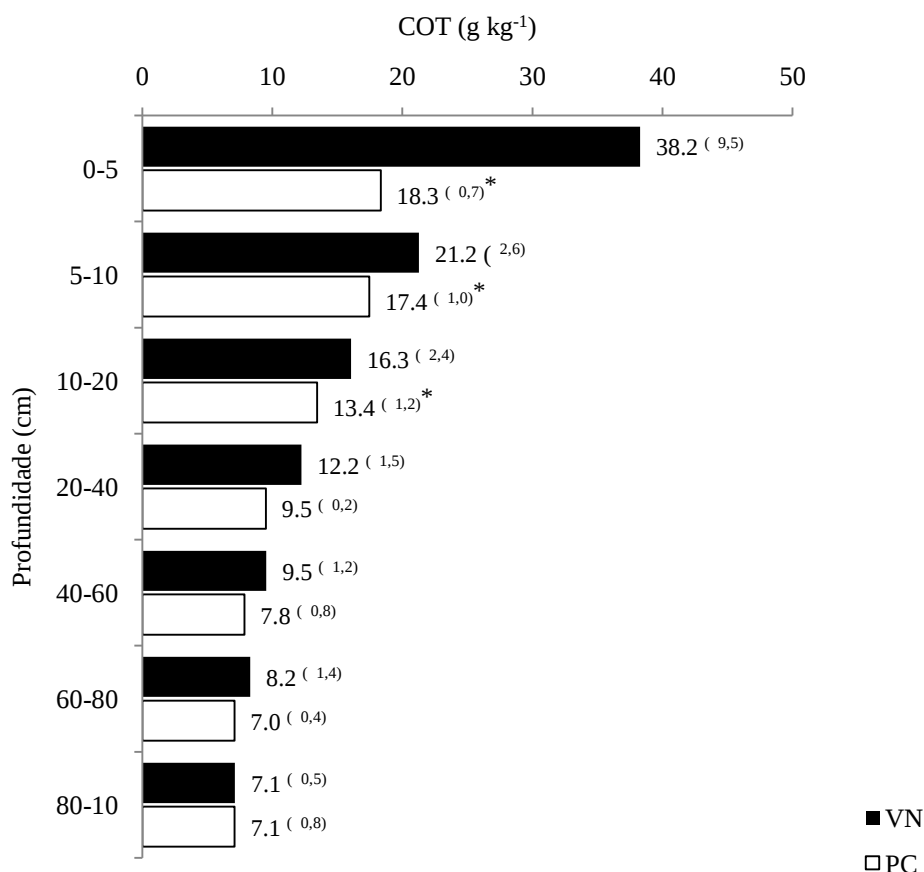


Figura 5: Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre a VN e o PC em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

Não foi observado diferenças significativas para o conteúdo médio de COT nos intervalos de camada de solo de 20-100 cm entre VN e PC, possivelmente pela baixa modificação do solo para essa camada.

Na VN, a média de densidade do solo foi menor entre os 5 primeiros cm ($1,00 \text{ Mg m}^{-3}$), aumentando ligeiramente para $1,12 \text{ Mg m}^{-3}$ até 1 m de profundidade (Tabela 9). Verificou-se maior densidade de massa do solo no PC, provavelmente devido a última ação de semeadura e colheita.

Para as camadas mais profundas do solo (40-60 e 60-80 cm) a densidade sob PC foi significativamente superior que a VN (LRV) devido ao menor conteúdo de argila (Tabela 8) e por isso justifica-se a correção dos estoques por massa equivalente

Na camada 0-20 cm, o estoque de COT da VN foi de 48,0 Mg ha⁻¹ (Tabela 10). O estoque de COT até a profundidade de 1 m, representou 130,3 Mg ha⁻¹, 36% desse estoque (46,9 Mg ha⁻¹) foi registrado a uma profundidade de 0-20 cm, 23% (29,9 Mg ha⁻¹) na camada de 20-40 cm e 41% (53,42 Mg ha⁻¹) entre a camada de 40 e 100 cm de profundidade. Após a conversão em solos agrícolas, perdas significativas de COT ocorreram no PC. O estoque médio de COT na profundidade de 0-20 cm diminuiu de 48,0 Mg ha⁻¹ na VN para 33,8 Mg ha⁻¹ no PC (Tabela 10).

Esses resultados do estoque de COT sob VN corroboram com os reportados por Batlle-Bayer (2010) em estudo realizado na região do Cerrado.

Bayer et al. (2006) também reportaram estoque de COT de 54 Mg ha⁻¹ na camada 0-20 cm de profundidade do solo para um típico Haplusdox, enquanto em um Ferrasol Gibisico (555 g kg⁻¹ de argila), no centro da região do Cerrado (Goiás), Corbeels et al. (2006) mediu um estoque de COT no solo de 68,1 Mg ha⁻¹ na camada 0-20 cm. Chapuis Lardy et al. 2002, relataram para o Latossolo Vermelho na região do Cerrado estoque de COT variaram das as camadas superficiais do solo de 0-20 até 100 cm de 46-63 Mg ha⁻¹ até 143-148 Mg ha⁻¹.

Na camada de solo 80-100 cm, a diferença entre VN e PC (26,2 Mg C ha⁻¹) representou um decréscimo de 20% de C, como resultado de 13 anos de revolvimento do solo, o que significa uma perda de aproximadamente 2,0 Mg C ha⁻¹ ano para este solo. Em estudos realizados por Zinn et al. (2005), não observo-se mudanças significativas de ações COT para Latossolos (<500 g kg⁻¹ argila) e Latossolos argilosos (> 500 g kg de argila) para os sistemas de uso do solo no Cerrado.

Em contrapartida, Silva et al. (1994) relatam perdas de 41% (solos argilosos), 76% (solos textura média), e 80% (solos arenosos) do estoque de C original após cinco anos de cultivo de soja. Bayer et al. (2006) encontraram 15% das perdas de C em locais com topografia inclinada, sob PC por mais de 20 anos, para um solo argilo arenoso (350 g kg⁻¹ de argila). Além disso, Séguy et al. (2006) mostraram uma perda média de 1,6 Mg C ha⁻¹ ano após a conversão de uma vegetação nativa de Cerrado em monocultura de soja por 10 anos no município de Lucas do Rio Verde.

3.5.4. Alterações nos compartimentos da MOS provocada pela preparo convencional após a conversão da vegetação natural em área agrícola

3.5.4.1. Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM)

Em PG, o estoque no COAM (233,9 Mg ha⁻¹, até 1 m de profundidade) foi 2,16 vezes mais elevado do que em LRV (COAM = 108,06 Mg ha⁻¹, até 1 m de profundidade), enquanto o estoque de C no COP foi semelhante entre os ecossistemas (24,0 Mg ha⁻¹ em PG; 25,2 Mg COP ha⁻¹ em LRV) na VN (0-100 cm) tabela 11, embora o material de origem seja diferente.

A média do estoque de COP em PG foi de 9,3% do estoque total de C, enquanto essa fração foi responsável por 19% em LRV até 1m de profundidade. Comparativamente, mais COP poderia ser mineralizado, indicando que o impacto da conversão na fração de C lábil gera perdas expressivas na fertilidade química, física, biológica do solo. Em cada ecossistema o preparo resultou em uma taxa de perda anual na camada 0-40 cm de 0,88 e 1,55 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, para PG, LRV, respectivamente. Essas perdas ocorrem em maior expressão no COP do que no COAM. Resultado observado em LRV contrasta com vários estudos, incluindo Zinn et al. (2005), Dieckow

(2009), e a revisão de Batlle-Bayer et al. (2010) onde o intervalo entre os sistemas de PC e VN foi de -0,3 a 0,1 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

As frações COP e COAM foram afetadas pela conversão, gerando maiores perdas de C na fração particulada. Em PG, na camada de 0-5 cm o PC resultou em uma perda de COT de 45,7 g kg⁻¹ sendo 37% na fração COP, indicando menor migração de C para a fração COAM (Tabela 11) Em ambiente subtropical o COP e o COAM diminuíram na camada 0-40 cm de 17,6 e 128,1 Mg C ha⁻¹ na VN para 7,8 e 112,5 Mg C ha⁻¹, representando 55% e 12% de decréscimo devido ao preparo do solo (Tabela 11). No ambiente tropical, o estoque de COP reduziu de 18,8 Mg C ha⁻¹ para 9,9 Mg C ha⁻¹ com o preparo enquanto o estoque de COAM decresceu de 59,9 para 46,6 Mg C ha⁻¹, para os primeiros 40 cm de profundidade.

Tabela 11: Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pelo manejo locais PG e LRV.

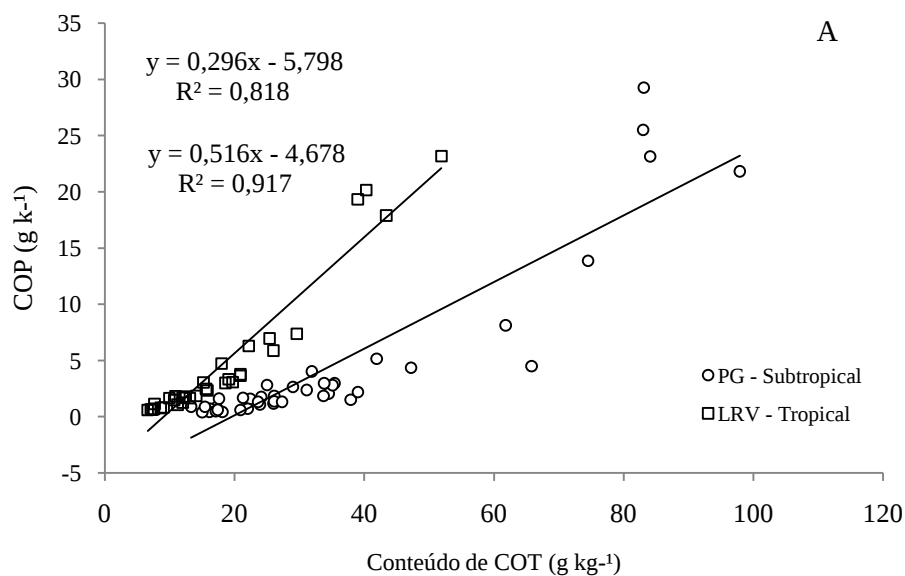
	Profundidade de amostragem (cm)	VN		PC	
		COP	COAM	COP	COAM
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
PG	0-20	14,5 ± 5,14 a	77,5 ± 10,1 A	6,0 ± 1,03 b	61,45 ± 2,94 AB
	20-40	3,06 ± 0,58 a	50,62 ± 10,1 A	1,83 ± 0,52 b	50,72 ± 0,16 A
	40-60	2,83 ± 2,04 a	41,21 ± 4,10 A	0,96 ± 0,31 b	47,15 ± 8,03 AB
	60-80	1,7 ± 0,94 a	34,22 ± 6,25 A	0,75 ± 0,20b	41,32 ± 5,34 AB
	80-100	1,9 ± 1,62 a	30,43 ± 6,06 A	0,69 ± 0,10 ab	38,31 ± 7,01 AB
	0-100	24,01 ± 7,97 a	233,98 ± 24,5 A	10,23 ± 8,65 b	239,26 ± 0,66 B
LRV	0-20	15,28 ± 6,38 a	35,37 ± 3,87 A	7,46 ± 1,33 b	27,3 ± 1,25 B
	20-40	3,55 ± 2,58 a	24,54 ± 1,91 A	2,43 ± 0,15 a	19,26 ± 1,82 B
	40-60	2,51 ± 1,29 a	18,39 ± 1,18 A	2,06 ± 0,12 a	15,46 ± 0,41 AB
	60-80	2,1 ± 1,11 a	15,57 ± 1,30 A	2,0 ± 0,15 a	13,19 ± 0,80 A
	80-100	1,81 ± 0,65 a	14,2 ± 0,35 A	2,09 ± 0,22 ab	13,29 ± 1,04 A
	0-100	25,24 ± 10,2 a	108,06 ± 5,81 A	16,06 ± 1,74 b	88,5 ± 2,79 B

COP: Carbono Orgânico Particulado. Letras minúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$) entre VN e PC.

COAM: Carbono Orgânico Associado aos Minerais. Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$) entre VN e PC.

Observou-se que, na fração COP as mudanças provenientes do sistema de uso do solo foram mais impactantes em comparação com o COAM na camada superficial do solo (0-20 cm) para PG. Desse modo, verifica-se que o COP pode funcionar como indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo e a curto prazo, já o COAM é, normalmente menos modificado pelas diferentes formas de manejo adotadas, principalmente a curto prazo (BAYER et al., 2004).

Observa-se uma relação linear positiva entre o COT e o COP para PG ($R^2 = 0,81$) e LRV ($R^2 = 0,91$) sob vegetação nativa. Da mesma forma houve relação positiva entre o COT e o COAM para PG e LRV, ($R^2 = 96,0$ e $R^2 = 90,0$, respectivamente (Figura 6 A e B).



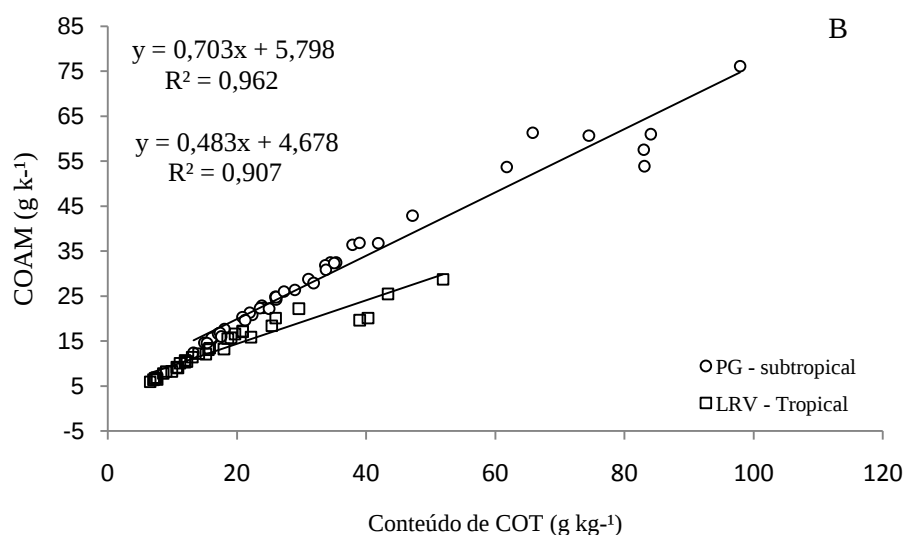


Figura 6: Relações lineares de COP (A) e COAM (B) entre o COT para PG– seis repetições e LRV– quatro repetições sob vegetação nativa.

A conversão da VN em campos de produção sobre preparo convencional do solo foi associado a uma redução acentuada do compartimento lábil da MOS, refletindo a baixa sustentabilidade desse sistema de produção (Tabela 12).

Tabela 12: Perda do C original do solo na fração COP e COAM devido ao preparo convencional para a camada de 0-20 cm, em PG e LRV.

Uso do solo e local	Tempo de uso do solo (anos)	Frações de C	Perdas de C nas frações com o PC			
			Total	Anual	Relativa anual	Relativa / fração
			Mg ha ⁻¹		%	
PG	42	COP	8.50	0.20	1.40	73.90
		COAM	16.05	0.38	0.49	26.10
LRV	13	COP	5.80	0.45	3.44	65.06
		COAM	8.40	0.65	1.85	34.94

3.5.5 Carbono oxidável, carbono nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente e carbono recalcitrante

3.5.5.1. Carbono oxidável –C-OX

O C-OX representa 74% do conteúdo do COT na VN (PG) para a camada 0-5 cm e 47% na VN (LRV) para a mesma camada, para o PC (PG) essa representatividade foi semelhante a VN, 73% do conteúdo do COT e 78% para PC (LRV). O C-OX variou com o valor do COT, diminuindo com a profundidade do solo (Figura 7 e 8).

De maneira geral, as maiores proporções do C oxidável em relação ao COT estão presentes nas primeiras camadas do solo.

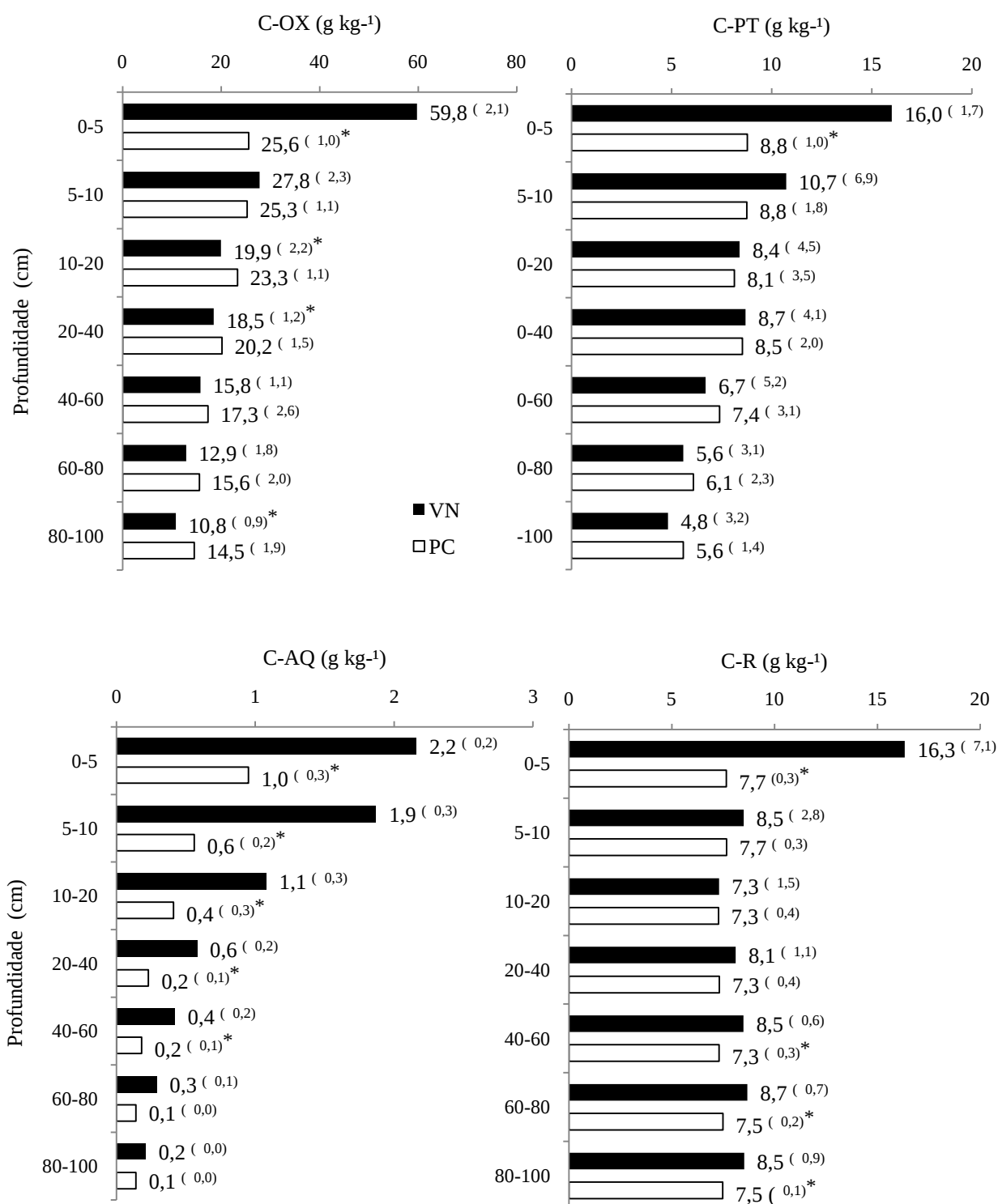


Figura 7: Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo, na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade em PG. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre a VN e o PC em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

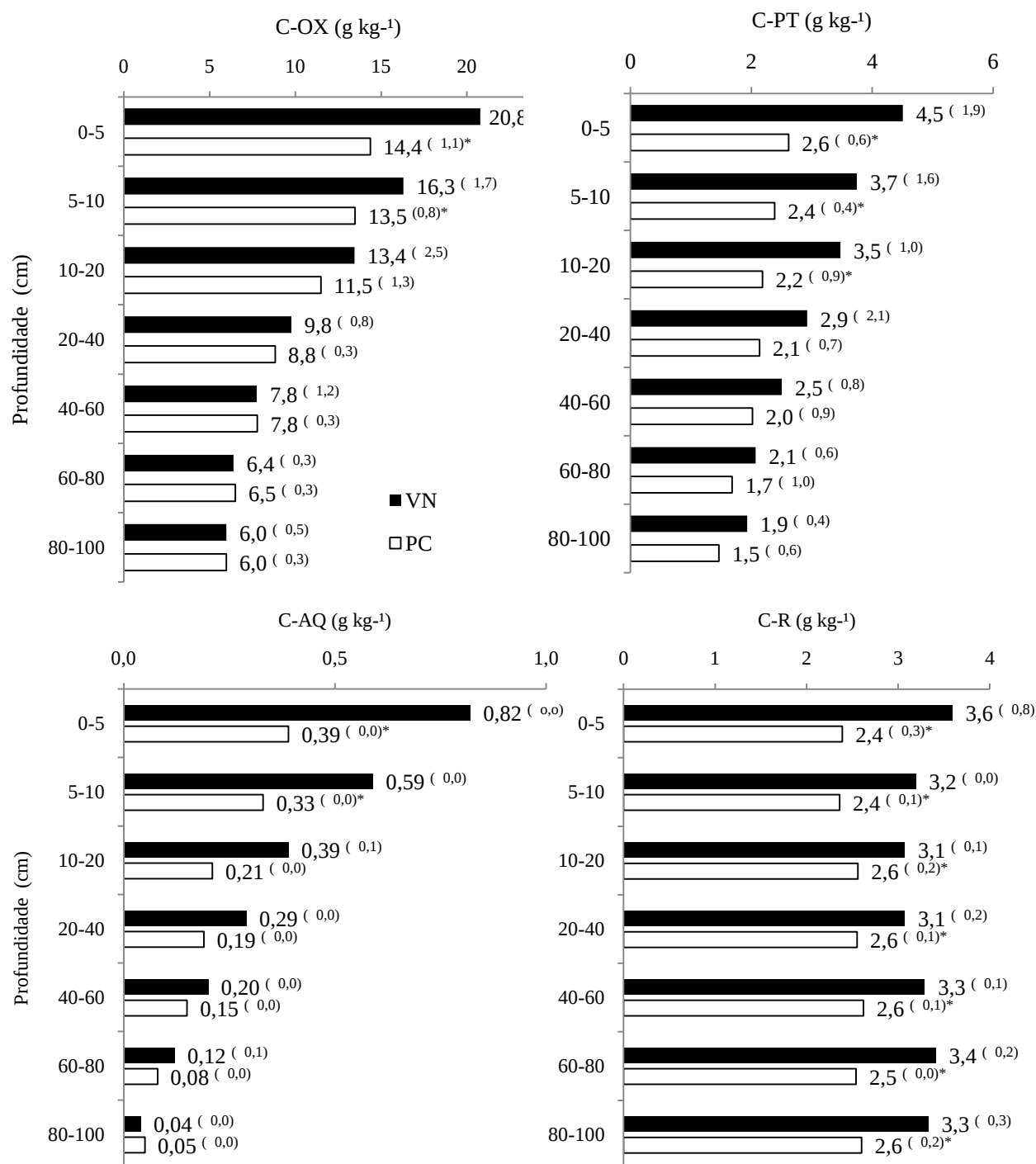


Figura 8: Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo, na vegetação nativa (VN) e no tratamento em preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade em LRV. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre a VN e o PC em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

3.5.5.2 Carbono contido nos polissacarídeos totais – C-PT e carbono orgânico extraído com água quente - CAQ

Em PG, a média do conteúdo de C-AQ no solo sob VN ($2,16 \text{ g kg}^{-1}$) representou 2,7% do COT na camada 0-5 cm e reduziu até 1,5% do COT ($0,21 \text{ g C kg}^{-1}$) na camada de 80-100 cm de profundidade (Figura 7). A porcentagem de C-PT no solo sob VN representou 20% do COT a 0-5 cm e 29% na camada 80-100 cm.

O conteúdo de C-AQ no solo sob VN e em PC, foi positivamente correlacionado com o conteúdo de C-PT sugerindo que os carboidratos solúveis foram os componentes predominantes do C-AQ. O conteúdo de C-AQ na VN foi significativamente superior ao PC até 20 cm, enquanto diferenças foram observadas somente na camada superficial pelo PT.

Em LRV na VN, o conteúdo de C-AQ no C-PT representou 2,1% e 13% do COT respectivamente na camada 0-5 cm e 0,6% e 27% na camada 80-100 cm (Figura 8). Os conteúdos de C-AQ e C-PT foram significativamente afetados pelas mudanças de uso do solo na camada superficial com menores valores medidos em LRV sob PC (C-AQ: $0,39 \text{ g kg}^{-1}$; C-PT: $6,5 \text{ g kg}^{-1}$) em comparação com VN (C-AQ: $0,82 \text{ g kg}^{-1}$; PT: $11,3 \text{ g kg}^{-1}$).

Os diferentes conteúdos de C-PT encontrados em PG e LRV podem ser explicados pela diferente quantidade de minerais de argila (tabela 8) associados aos compostos orgânicos.

De acordo com Parfitt e Greenland, 1970, polissacarídeos são fortemente adsorvidos por argilas cauliníticas no solo. Essa adsorção pode ocorrer tanto nas superfícies dos minerais quanto em espaços interlamelares dos minerais, os polissacarídeos são ligados às argilas por pontes de hidrogênio formadas entre os grupos OH dos polissacarídeos e átomos de oxigênio da fase sólida do solo (KOHL e

TAYLOR, 1961). Íons, como Fe^{3+} , Al^{3+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{+} , participam da adsorção de polissacarídeos às argilas (EDWARDS e BREMNER, 1967).

Dontsova e Bigham (2005) observaram aumento de duas vezes na sorção de um polissacarídeo em superfícies de caulinita em relação à superfície de esmectita. Esses autores também verificaram que a sorção desse polissacarídeo aos minerais de argila se relacionou com outras propriedades, tais como a área superficial dos minerais e capacidade de troca de cátions.

3.5.5.3. Carbono recalcitrante – C-R

A proporção de C-R em PG, aumentou com a diminuição do C em profundidade e variou de 14% na camada superficial para 49% nas camadas mais profundas (Figura 7). Em condição subtropical, o conteúdo do C-R diferiu significativamente entre os modos de uso do solo na camada superficial com 16,3 e 7,7 g kg⁻¹ em VN e PC, respectivamente (Figura 7).

Isso pode ter ocorrido segundo Wardle (1993), trabalhando em camadas de uma serapilheira de floresta, observou um acréscimo de C-R nas estruturas mais próximas ao horizonte superficial, estes resultados ocorreram, provavelmente, pelo aumento de formas de C mais recalcitrante na camada mais superficial, pela presença de material em estágio inicial de decomposição.

Conteúdo semelhante de C-R foi constatado desde a camada de 5-10 cm até 100 cm de profundidade entre os usos do solo.

Em LRV, o conteúdo do C-R também não apresentou alteração nas camadas superficiais e na profundidade até 100 cm independente do uso do solo (Figura 8). Segundo Bruun et al. (2008) a alta recalcitrância do C extraído, proporciona baixa alteração desse compartimento.

Em geral, o C-R representou cerca de 22% do COT para a região subtropical sob VN e PC nos primeiros 40 cm de solo, já para a região tropical, esse compartimento representou cerca de 14,0% do COT sob VN e 17,0% no manejo sob PC.

3.6. CONCLUSÕES

As mudanças no uso do solo em PG, apresentaram efeito significativo sobre os estoques de COT na camada de 0-20 cm, representando uma redução de 26% do COT em 41 anos após a conversão da VN em área cultivada.

Em LRV na camada de 0-100 cm, a diferença entre PC e a VN (29,2 Mg C ha⁻¹) representou uma diminuição de 22% de C após de 23 anos de PC, o que significa uma perda de 1,10 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para o Latossolo Vermelho.

As frações da MOS (COP e COAM) foram intensamente afetadas pela preparo do solo após a conversão em PG e LRV, no entanto a perda de C foi maior para a fração particulada da MOS.

Em PG na camada de 0-5 cm o PC reduziu o conteúdo de COT para 45,7 g kg⁻¹, e 37% deste valor foi relacionado com o COP, indicando uma clara redução de C associado aos minerais.

Conteúdos de C-AQ e C-PT foram significativamente afetados pela conversão de VN para PC na camada superficial em ambos os locais.

4. RECUPERAÇÃO DO CARBONO DO SOLO EM RESPOSTA AO PLANTIO DIRETO ASSOCIADO A SISTEMAS DE CULTURAS

4.1 RESUMO

A utilização do sistema convencional provoca a oxidação da MO resultando em grandes perdas de C para atmosfera, enquanto a adoção do plantio direto associado a rotação de culturas permite contribuir para a recuperação do C através do aporte de resíduos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de recuperação de C do solo com o plantio direto associado a sistemas de culturas. Esse estudo foi realizado em experimentos de longa duração e em dois locais: 1) Na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) Ponta Grossa-PR, denominado PG; 2) Na estação experimental da Fundação Rio Verde, Lucas do Rio Verde em Mato Grosso, denominado LRV. O desenho experimental em ambos locais é constituído de faixas com 3 repetições. A amostragem do solo foi em ambos locais nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm e realizadas em setembro e outubro de 2009, respectivamente. Para a avaliação dos compartimentos da matéria orgânica foram determinados o conteúdo de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico oxidável (C-OX), carbono nos polissacarídeos totais (C-PT), carbono orgânico extraído com água quente (C-AQ), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e carbono recalcitrante (C-R). Em ambos os locais observou-se diferenças significativas nos estoques de C entre PC e PD, os estoques de C no solo sob PD foram aumentados em cerca de 0,85 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na região subtropical e 1,45 a 2,19 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em Região tropical quando se considerou o perfil do solo até 100 cm de profundidade. Em LRV, o conteúdo de C-PT na camada superficial (0-20 cm), resultou em média para os PD's, 27,35 g kg⁻¹, evidenciando 34% a mais que o conteúdo encontrado no PC. Estoques de C no COP e COAM foram maiores no PD em relação ao PC em PG e em LRV para a camada do solo de 0-20 cm de profundidade. O conteúdo de C-AQ no solo sob PD para ambos os locais, foi positivamente correlacionada com o conteúdo de C-PT sugerindo que os carboidratos solúveis foram os componentes predominantes do C-AQ.

Palavras chave: Aporte de carbono, qualidade do solo, fonte/dreno

4.2 SUMMARY

The use of the conventional system causes the oxidation of organic matter resulting in large losses of C to the atmosphere. The adoption of no-till system will help the recovery of C through the contribution of residues. The objective of this study was to evaluate the recoverability of soil C under no-tillage cropping systems associated with. This study was conducted in long-term experiments and in two places: 1) experimental station of the Agronomic Institute of Parana (IAPAR) Ponta Grossa-PR and called PG, 2) experimental station Foundation of Rio Verde, in Lucas do Rio Verde Mato Grosso and called LRV. The experimental design at both sites consists of tracks with three repetitions. Soil sampling at both sites were at depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm and held in September and October 2009 respectively. For the assessment of organic matter pools were analyzed for total organic carbon content (TOC), oxidizable organic carbon (C-OX), total carbon in polysaccharides (C-PT), organic carbon extracted with hot water (C-HW), carbon particulate organic (POC), organic carbon associated with minerals (OCAM) and recalcitrant carbon (C-R). At both sites we observed significant differences in C stocks between CT and NT, the C stocks in soil under NT were increased by about $0.85 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ in the subtropical and from 1.45 to 2, 19 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ in a tropical region when considering the soil profile to 100 cm depth. The LRV, the content C-PT in the surface layer (0-20 cm), resulted in average for the NT's, $27,35 \text{ g kg}^{-1}$, showing 34% more than the concentration found in the CT. Stocks of C in COP and OCAM were higher in NT compared to CT in PG and LRV for the soil layer of 0-20 cm deep. The content of soil under C-AQ in NT for both sites was positively correlated with the content of C-PT suggesting that the soluble carbohydrates were the predominant components of the C-HW.

Keywords: Contribution of carbon, soil quality, source/drain

4.3 INTRODUÇÃO

Nos anos 70 e 80, os agricultores do sul do Brasil, iniciaram a mudança da produção tradicional de culturas com base no preparo do solo e queima dos resíduos culturais para o um sistema conservacionista, representado pelo plantio direto (PD), contribuindo para a redução da degradação do solo e da oxidação do C orgânico do solo (CASTRO FILHO et al., 2002).

Estas mudanças foram impulsionadas principalmente pela necessidade de reduzir os prejuízos causados pela a erosão dos solos devido às elevadas precipitações pluviométricas que antecedem a semeadura.

Em regiões tropicais, o principal desafio em clima quente e úmido do Cerrado foi desenvolver sistemas de PD que produzissem quantidades significativas de resíduos de matéria seca para proteger permanentemente o solo da erosão, aumentar o estoque de C esgotado pelos anos anteriores de cultivo sob sistema convencional e proporcionar maior rentabilidade econômica ao produtor. Muitos estudos têm sido realizados para quantificar o estoque de COT e a taxa de seqüestro de C em solos no Brasil. Em regiões tropicais a taxa de seqüestro de C varia de- 0,03 a 1,7 Mg ha⁻¹ano⁻¹ (BAYER et al., 2006; CORBEELS et al. 2006; CERRI et al., 2007; SIQUEIRA NETTO et al., 2010) e em regiões subtropicais de – 0,07 a 1,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹(BAYER et al., 2000; SÁ et al., 2001; AMADO et al., 2006; BAYER et al., 2006; CERRI et al., 2007; BODDEY et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do plantio direto associado com os sistemas de culturas na recuperação e no acúmulo de C em função da adição dos resíduos culturais.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

No capítulo anterior, item 3.4 (Material e Métodos), foi descrito a localização descrevendo as regiões agro-ecológicas, o histórico da área experimental e de cada experimento, o manejo do solo, a sequência de culturas, a biomassa total e entrada C, o procedimento de amostragem do solo, análises do solo, cálculo de estoque de C e as análises estatísticas.

4.4.1. Descrição da rotação de culturas e adição de C nos tratamentos em PG e LRV

Os detalhes de rotações de culturas, adição de C e seqüências para o tratamento Plantio Convencional –PC, Plantio Mínimo - PM e Plantio Direto - PD em Ponta Grossa-PR e os tratamentos PC e PD's em Lucas do Rio Verde estão apresentados na Tabela 13 e 14, o conteúdo de C nos resíduos culturais e componentes do balanço de C para cada cultura estão apresentados na Tabela 15 e a densidade pode ser observada na Tabela 16.

Tabela 13: Sequência de culturas e entrada anual de C através da matéria seca no período experimental de 29 anos (1981-2009) em PG.

Uso do solo	Período do experimento								Total ^d	Anual ^e
	1981-88	1988-91	1991-94	1994-97	1997-00	2000-03	2003-06	2006-09		
	----- Sequência da cultura para cada período ^b -----									
PC, PM, PD ^a	S/T	S/T – S/A – S/A	M/T– S/A – S/Tr	M/A – S/T – S/A	M/A – S/T – M/A+E	M/A – S/A – S/A+E	M/A – S/A – M/A	S/A – M/N – S/E		
	----- Entrada de C (Mg ha ⁻¹) para cada 3 anos ^c -----									
PC	9.30	7.93	10.21	9.33	11.55	11.95	15.46	10.37	86.1	3.07
PM	8.47	7.06	10.26	9.30	11.12	11.95	14.89	10.64	83.7	2.99
PD	25.84	8.84	10.72	11.95	14.25	13.98	18.04	12.46	116.1	4.15

^a PC: plantio convencional, PM: plantio mínimo, PD: plantio direto. PD sequência de 1981 para 1988: M/O – S/W – S/L – M/O – S/W – S/L – M/O. De 1981 para 1988 início da transição de PC para PD, e passou definitivamente a ser PD em 1989. ^b S = soja (*Glycine max* (L.) Merr.), T = trigo (*Triticum aestivum* L.), A = aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), M = milho (*Zea mays* L.), Tr = tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.), N = nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), E = ervilhaca (*Vicia villosa* Roth); ^c A soma da entrada de C pelos resíduos das culturas para cada período; ^d Entrada de C total = soma de entrada C ao longo do 29 anos de experimento; ^e Entrada anual de C = entrada total de C/29 anos.

Tabela 14: Sequência de culturas e entrada anual de C através da matéria seca no período experimental de 21 anos (1987-2009) em LRV.

Uso do solo	Período do experimento												Total ^d	Anual ^e
	87-88	88-89	89-00	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10		
	Sequência da cultura ^b													
PC ^a	PC+calagem	Arz/Ps	S/Ps	S/M	S/M	S/M	S/Al	S/Al	S/Al	S/Al	S/Al	S/Al		
PD1	PC+calagem	Ar/Sc	S/Sc	S/M	S/M+Brz	Rc	M	S/M+Brz	S/M+Brz	S/M+Brz	M	S/Cs		
PD2	PC+calagem	Ar /Sc	S/Sc	S/M	S/Pg+Cs	Rc	M	S/Pg+Cs	S/G+Brz	S/G+Brz	M	S/Sg+Cs		
PD3	PC+calagem	Ar /Sc	S/Sc	S/M	S/Sg+Brz	Rc	M	S/Sg+Brz	S/Sg+Brz	S/Sg+Brz	M	S/Sg+Brz		
PD4	PC+calagem	Ar /Sc	S/Sc	S/M	S/Mt	Rc	M	S/Mt	S/M+Brz	S/M+Brz	M	S/M		
	Entrada de C (Mg ha ⁻¹) ^c													
PC	0	nd	nd	nd	6.48	6.48	3.06	3.06	3.39	3.23	3.23	3.13	32.1	4.01
PD1	0	nd	nd	nd	9.26	2.49	6.27	9.39	9.81	9.64	7.44	6.43	60.8	7.60
PD2	0	nd	nd	nd	8.43	3.74	6.69	7.79	8.49	7.79	7.21	8.50	58.7	7.34
PD3	0	nd	nd	nd	9.73	3.93	6.03	10.26	10.57	9.86	7.21	9.43	67.0	8.38
PD4	0	nd	nd	nd	7.66	3.41	6.12	7.66	9.94	10.01	7.30	7.22	59.3	7.41

^a PC: plantio convencional, PD1-PD2: plantio direto sob diferente seqüência de culturas. ^b PC + calagem = plantio convencional + calagem, Ar = arroz (*Oryza sativa* L.), Sc= solo sem cultivo no verão, S = soja (*Glycine max* (L.) Merr.), M = milho (*Zea mays* L.), Al = algodão (*Gossypium hirsutum* L.), Brz = *Brachiaria ruziziensis* cv. ruzi, Cs = *Crotalaria spectabilis*, Pg = pé de galinha (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn), G = girassol (*Helianthus annuus* L.), Sg = *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Mt = milheto (*Pennisetum typhoides* Burm.). ^cEntrada de C para cada época de colheita; ^d Entrada total de C = soma da entrada de C durante os anos de experimento; ^e Entrada anual de C = Entrada total/8 anos

Tabela 15: Conteúdo de C nos resíduos culturais e componentes do balanço de C para cada cultura.

Cultura	Conteúdo de C na cultura (g kg ⁻¹) ^a	M.S. aérea ^b	M.S. raiz ^c
<i>Subtropical</i>			
Soja	395	0.89	0.20
Trigo	450	0.95	1.15
Milho	455	1.10	0.25
Aveia	432	1.00	0.23
Ervilhaca	375	1.00	0.14
Tremoço	440	1.00	0.17
Centeio	450	1.00	0.22
<i>Tropical</i>			
Soja	353	1.59	0.19
Milho	448	1.57	0.24
Milho safrinha	448	2.21	0.23
Girassol	440	2.23	0.21
Sorgo	444	1.68	0.26
Pé de galinha	385	1.00	0.36
<i>C. spectabilis</i>	440	1.00	0.26
<i>B. ruziziensis</i>	443	1.00	0.38

^aC conteúdo determinado através da análise de combustão seca (TruSpec CN analyser, Leco, St. Joseph, 2006) ^bMatéria seca da parte aérea determinada como o índice de colheita, para o valor >1 ou <1. Valor = 1 indica que não há determinação do índice de colheita para estas espécies. ^c M.S. da raiz determinada como a razão acima da M.S acima do solo MS /MSraiz.

Tabela 16: Variação média da densidade aparente do solo sob plantio convencional e plantio direto para PG e LRV, média de seis amostras para cada camada e tratamento.

Profundidade de amostragem (cm)	Densidade do solo (Kg dm ⁻³)							
	PG			LRV				
	PC	PM	PD	PC	PD1	PD2	PD3	PD4
0-5	1,01 a	1,02 a	1,02 a	1,20 b	1,25 ab	1,21 b	1,32 ab	1,37 a
5-10	1,05 a	1,10 a	1,10 a	1,31 a	1,23 b	1,19 b	1,29 ab	1,34 a
10-20	1,10 a	1,08 a	1,10 a	1,39 a	1,27 b	1,25 b	1,31 ab	1,28 b
20-40	1,06 a	0,99 b	1,02 ab	1,35 a	1,29 b	1,29 b	1,25 c	1,27 b
40-60	0,95 a	0,97 a	1,04 a	1,27 a	1,11 c	1,16 bc	1,15 bc	1,20 b
60-80	0,95 a	1,03 a	1,00 a	1,23 a	1,13 b	1,07 c	1,13 b	1,13 b
80-100	0,98 b	0,99 ab	1,03 a	1,25 a	1,09 b	1,13 b	1,09 b	1,12 b

Letras minúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. *Conteúdo e estoque de C afetado pelo uso do solo e sistemas de culturas*

4.5.1.1 *Sub-Tropical, Ponta Grossa-PG*

O conteúdo de C no PD foi altamente estratificadas com a profundidade (0-20 cm), enquanto PC e PM mostrou-se uniforme, devido ao efeito de mistura e uniformização de sucessivas araões (Figura 9).

O PD resultou em maiores conteúdos de C com 27,5 g kg⁻¹ e 20,9 g kg⁻¹ mais C que em solos sob PC e PM (0-5 cm de profundidade), o que significa um decréscimo de 44% e 33% de C respectivamente.

Favoretto et al. (2008) mostrou que para esta condição específica, o grau de humificação de ácidos húmicos foram significativamente maiores em PC que em PD e PM para a camada superficial do solo (0-20 cm).

Da mesma forma, a Bayer et al. (2002), usando espectroscopia de fluorescência e ressonância eletrônica, informou que o menor conteúdo de semiquinona estável (tipo radicais livres de ácidos húmicos), foi registrada sob o PD para um solo típico do Sul do Brasil para a camada superficial do solo (0-25 cm).

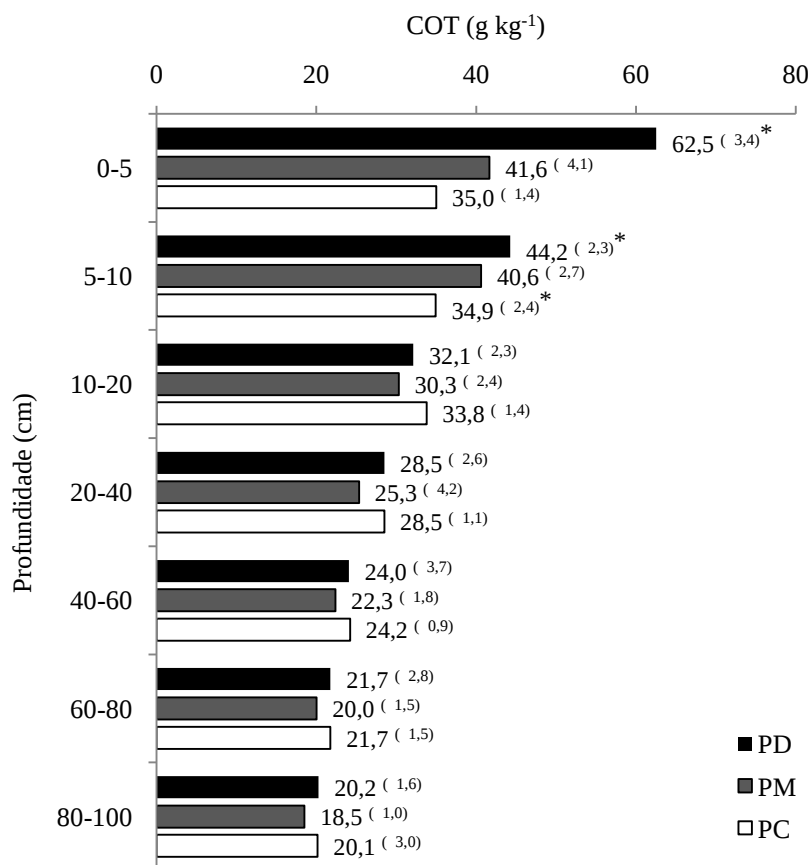


Figura 9: Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo sob plantio direto (PD), preparo mínimo (PM) e preparo convencional (PC) até 1 m de profundidade. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

Os estoques de C a camada de 0-20 cm do solo foram significativamente superiores ($P < 0,05$) sob PD em comparação com PM e PC (Tabela 17).

Os estoques de C na profundidade de 0-20 cm representaram 27% em PC, 29% em PM e 36% em PD do estoque de C total para 100 cm de profundidade, evidenciando que o manejo realizado nessas condições têm efeito significativo sobre os estoques de C na camada de 0-20 cm. O estoque de C na camada de 0-20 cm no PD foi $17,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ a mais do que o PC, representando uma taxa de acúmulo anual de $0,59 \text{ Mg kg ha}^{-1}$ de C sobre o total de 29 anos de experimentação (Tabela 17). As taxas obtidas nesse estudo

corroboram com os reportados por diversos autores (BAYER et al, 2006; BODDEY et al, 2010; SÁ et al, 2001; SISTI et al, 2004), realizados em região subtropical do Brasil.

Quando os estoques COT foram comparados para a profundidade de 0-100 cm, observou-se que a diferença entre PD e PC foi inferior a encontrada na camada de 0-20 cm embora o estoque de C abaixo de 40 cm situa-se em 41%. Este resultado corrobora com recente estudo da Boddey et al., 2010, que verificou que o acúmulo de C no solo sob PD foi consideravelmente maior quando considerado o perfil do solo até 1 m de profundidade. Por outro lado, a diferença entre PD e PM é estatisticamente ($P < 0,05$) dependente da amostragem da profundidade do solo, com 14,3 Mg C ha⁻¹ quando os estoques foram avaliados a 20 cm e 29,9 Mg C ha⁻¹ para 1 m.

De acordo com Sisti et al. (2004) e Boddey et al. (2010) há maior acúmulo de C em profundidade registrada em PC evidenciando contraste com diversos estudos em condições temperadas, incluindo Baker et al. (2007), Blanco-Canqui e Lal (2008), e que constataram que os estoques mais elevados de C foram em PD do que em PC, diminuindo nas amostragens abaixo da camada arável.

Vários estudos (SISTI et al, 2004; DIECKOW et al, 2005; BODDEY et al, 2010;) enfatizaram a importância de leguminosas como cultura de inverno para aumentar o armazenamento de C. Calegari et al. (2008) reportaram maior taxa de acúmulo de C com a introdução de leguminosas de inverno, apesar da menor quantidade de matéria seca aportada. A principal razão foi a entrada de N ao sistema beneficiando o acúmulo de C em função da estabilização do C nos compostos orgânicos humificados.

A quantidade de resíduo depositados na superfície do solo (Tabela 13), indicam que estas entradas foram muito diferentes entre os tratamentos plantio direto, com 26% (30,0 Mg MS ha⁻¹) de biomassa mais matéria seca no PD do que em PC.

Os resultados reportados por Bayer et al. (2006) em ambiente subtropical, cuja adição anual de C foi de 8,84 Mg C ha⁻¹ e 3,92 Mg C ha⁻¹ para o PC e PD, respectivamente, para manter um saldo positivo. A quantidade de resíduos de culturas (2,97 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) depositado na superfície do solo sob PC, corresponde a uma entrada muito abaixo do nível inferior proposto por esses autores, enquanto que para PD de entrada anual de C (4,0 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹), permite atingir uma taxa de acúmulo positivo.

Tabela 17: Estoque de carbono orgânico total – COT ($\pm$ desvio padrão) no tratamento preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e plantio direto (PD) até 1 m de profundidade em PG.

profundidade em PC		Estoque de C					
camada do solo	Uso do solo						
	PC		PM		PD		Valor do <i>P</i>
(cm)	Mg ha ⁻¹						
0-20	67.4 ± 3.6	b	70.2 ± 5.8	b	84.5 ± 2.4	a	0.0001
20-40	52.9 ± 2.3	a	47.4 ± 8.7	a	53.2 ± 2.3	a	0.139
40-60	48.1 ± 8.3	a	44.6 ± 6.1	a	47.8 ± 4.9	a	0.597
60-80	42.1 ± 5.5	a	38.8 ± 4.7	a	42.0 ± 4.3	a	0.428
80-100	39.0 ± 7.1	a	36.0 ± 3.0	a	39.1 ± 4.9	a	0.527
0-100	249.5 ± 21.5	b	237.0 ± 17.8	c	266.6 ± 11.9	a	0.033

Letras minúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

4.5.1.2. Tropical, Lucas do rio Verde-LRV

O conteúdo de C diminuiu com a profundidade do solo com uma distribuição diferencial no perfil do solo entre os tipos de uso do solo (Figura 10). O conteúdo de C sob sistema PD decresceram com a profundidade, porém esta estratificação foi menos acentuada do que em PG nas camadas superficiais do solo.

O conteúdo médio de COT encontrado no PC foi significativamente inferior ($P < 0,05$) do que nos sistemas de culturas sob PD na camada de 0-5 cm, com exceção do PD4. Solos sob PD, com predomínio de poáceas como culturas de cobertura (milho +

sorgo + *B.ruziziensis*, + *B.ruziziensis* + milho) durante a estação seca, resultaram em maior quantidade de C anual (PD1, PD3 e PD4) e acumularam maior conteúdo de C na camada 0-5cm (26,8 para 25,2 g kg⁻¹ C) do que em PC (Figura 10).

Nas camadas mais profundas do perfil (40-60 e 60-80 cm) a densidade do solo sob PC foi significativamente maior do que nos tratamentos de PD, possivelmente devido ao menor conteúdo de argila (Tabela 8). Justifica-se esta constatação devido a relação linear inversa entre a densidade do solo até 1m de profundidade com o conteúdo de argila ($DS = 0.0014 \text{ argila} + 1.86$, $R^2 = 0,56$, $n = 49$, $P < 0,001$).

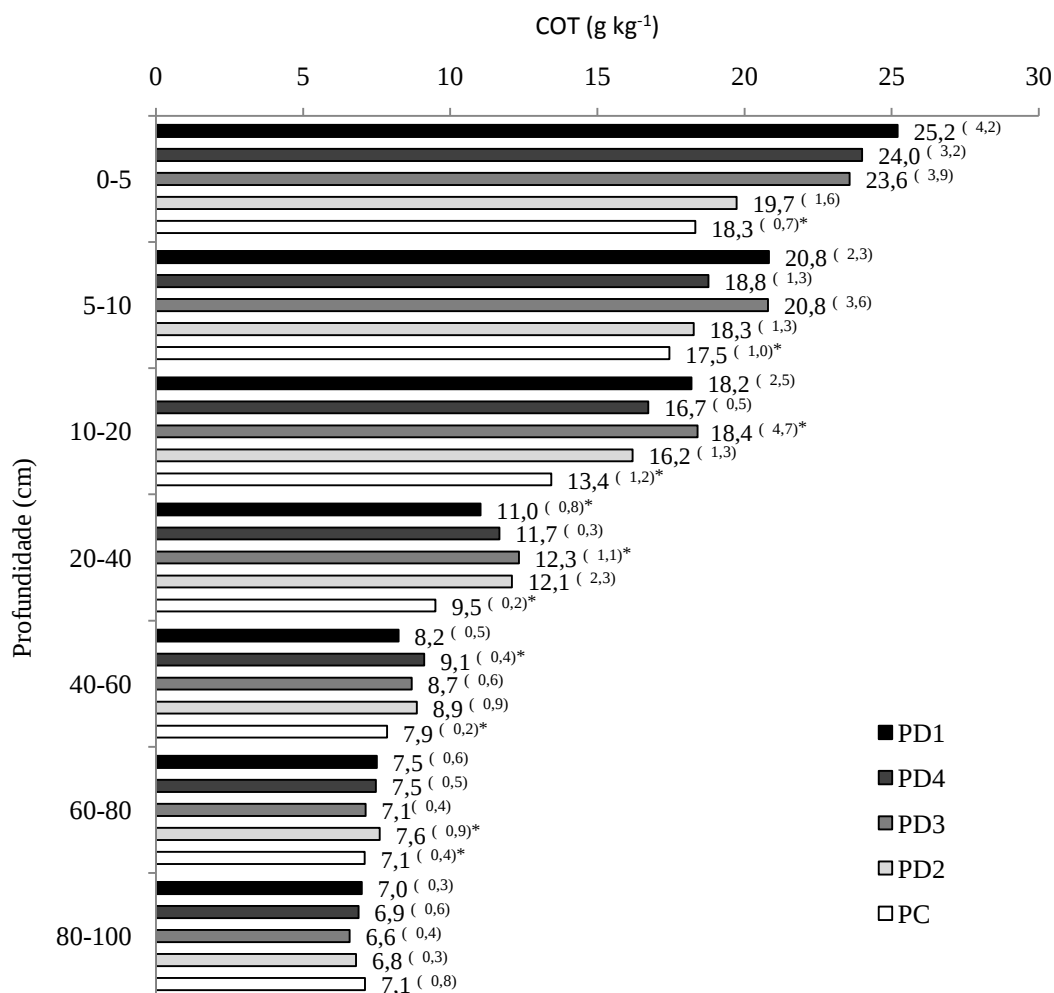


Figura 10: Distribuição do conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo no tratamento em preparo convencional (PC) e plantio direto até 1 m de profundidade. Os asteriscos representam a diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos em cada camada amostrada. Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão em relação a média.

Foram observadas diferenças significativas no estoque de C entre os sistemas de PD nos primeiros 20 cm de profundidade (Tabela 18), evidenciando o PD1 e PD3 com os maiores estoques de C, 44,2 e 43,3 Mg ha⁻¹ respectivamente e o menor estoque entre os PD's foi observado no PD2 (37,7 Mg ha⁻¹).

Além disso, os maiores estoques de COT foram observadas em 0-40 cm de profundidade para o PD com maior quantidade anual de biomassa seca (PD1, PD3, PD4).

Os estoques de C no plantio direto, com predomínio de poáceas durante a estação seca (PD1) foram significativamente maiores ($P < 0,05$) em comparação com o PC para a profundidade de 0-20 cm (Tabela 18).

A diferença entre todo o sistema PD e PC variou em média 3,9 a 10,4 Mg C ha⁻¹ a 0-20 cm de profundidade, representando taxas de acúmulo de C variando de 0,48 a 1,30 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Na camada de 0-40 cm a diferença média no acúmulo de C entre PD e PC aumentaram de 5,8 para 15,8 Mg C ha⁻¹.

Tabela 18: Estoque de carbono orgânico total – COT, no tratamento preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) até 1 m de profundidade em LRV.

camada do solo	Estoque de C				
	Uso do solo				
	PC	PD1	PD2	PD3	PD4
cm	Mg ha ⁻¹				
0-20	33,8 d	44,2 a	37,7 c	43,3 a	40,7 b
20-40	21,8 d	25,1 c	27,5 a	28,1 a	26,5 b
40-60	17,3 c	18,1 b	19,5 a	19,0 a	20,0 a
60-80	15,0 b	16,1 a	16,2 a	15,3 b	16,0 a
80-100	16,2 a	15,7 b	15,3 b	14,8 c	15,5 b
0-100	104,1 d	119,2 b	116,1 c	120,5 a	118,7 b

Letras minúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

A comparação entre todos os sistemas PD e o PC foi significativa para o COT acumulado de 0 a 100 cm de profundidade.

Os maiores acúmulos de C foram devido à sequência de cultivo intensivo com elevado aporte de C e ao fato de que previamente a adoção do PD o preparo do solo associado a monocultura de soja, ocorreu o esgotamento de C da superfície do solo contribuindo nos primeiros anos a uma maior taxa de sequestro (SÁ et al., 2001; SHERROD et al., 2003).

As estimativas de entradas acumulativas de C para cada um dos tratamentos com preparo variaram de 30,7 Mg C ha⁻¹ em PC para 67,9 Mg C ha⁻¹ em PD3.

A entrada de C nos tratamentos sob PD atingiu 12,6 Mg C ha⁻¹ ao longo dos 8 anos do experimento e sendo superior às reportadas em outros estudos cuja entrada média de C foi de 6,5 Mg C ha⁻¹ ano (BAYER et al., 2007; CORBELLS et al., 2006)

A relação entre o acúmulo de C no solo (0-100 cm) e o aporte de C dos resíduos (Figura 11) apresentou uma relação linear significativa ($C_{\text{acumulado}} = 0,811C_{\text{entrada anual}} - 4,097$, $R^2 = 0,93$, $P < 0,05$). A adição mínima necessária para manter o sistema em equilíbrio foi de 6,0 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, o que significa uma produção anual de matéria seca 13,4 Mg ha⁻¹.

O acúmulo de C no solo mostrou uma relação linear significativa entre o estoque até 1 m de profundidade e o estoque de 0-20 cm de profundidade ($C_{100} = 0,735C_{20} + 1,125$; $R^2 = 0,84$; $P < 0,05$) e foi 12,9% superior aos estimados para 0-20 cm (Figura. 12), indicando que a maior parte do acúmulo de C ocorreu na camada superficial do solo. Todavia, uma proporção significativa de C sob PD foi acumulado em camadas mais profundas e pode ser atribuída à entrada grande de resíduos culturais, mas também as espécies que desenvolvem sistemas radiculares profundos como a braquiária e o pé de galinha.

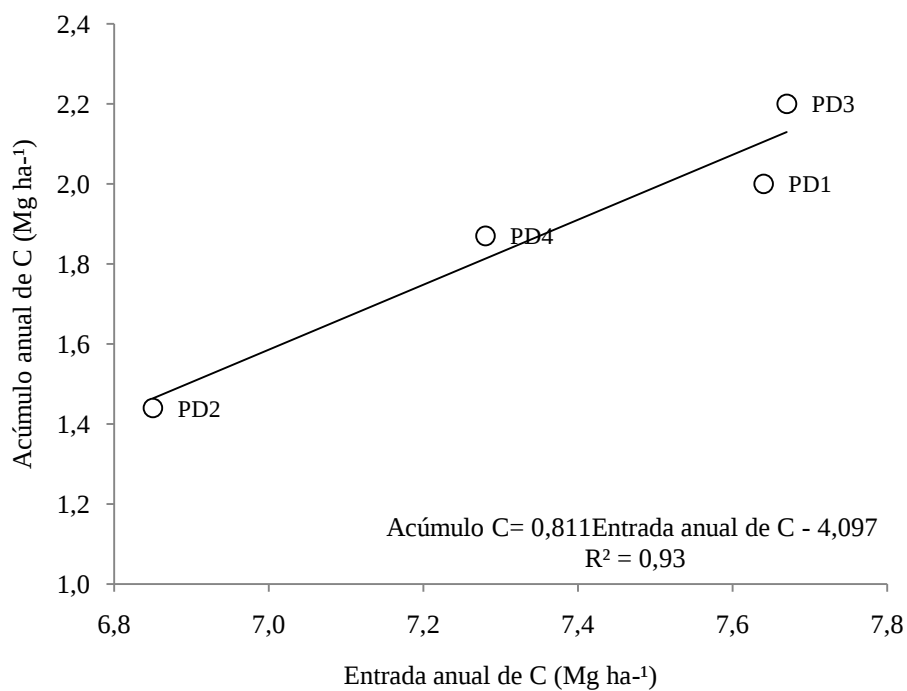


Figura 11: Relação entre o C acumulado no solo (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e entrada de C através de resíduos (Mg ha⁻¹ ano⁻¹), sob PD para a camada até 1 m de profundidade em LRV.

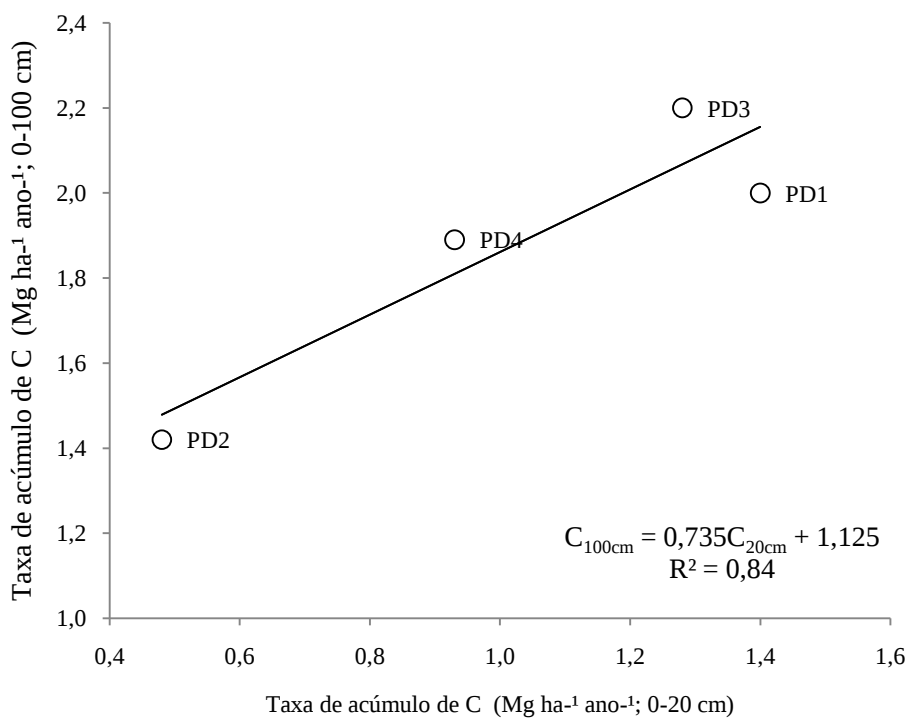


Figura 12: Relação entre o acúmulo de C do solo sob sistemas PD's para a camada de 0-20 e 0-100 cm de profundidade em LRV.

O aumento do estoque do C possui reflexos expressivos na melhoria da fertilidade de solo (SÁ et al., 2009) beneficiando o desempenho das culturas e resultando em maior aporte de resíduos culturais, o aumento da diversidade e da abundância das comunidades da fauna (BREVAULT et al., 2007), da porosidade e da condutibilidade (PIRES et al., 2008), da agregação (TORMENA et al., 2004) e da ciclagem de nutrientes (CHAPUIS-LARDY et al., 2002) e na eficiência do uso da água.

Estas taxas quando comparadas às reportadas para regiões temperadas são 1 a 2 vezes superiores (KONG et al., 2005).

4.5.2. Alterações nos compartimentos da MOS influenciado por sistemas de cultivo sob plantio direto

4.5.2.1 Estoques de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM)

Em PG, as frações do C particulado ($> 53 \mu\text{m}$) no PD apresentaram elevada estratificação com a profundidade. Na camada de 0-5 cm o PC resultou em uma perda de carbono orgânico na fração COP de $45,7 \text{ g kg}^{-1}$ e equivalente a 37%, indicando menor migração de C para a fração COAM (Tabela 19). Na camada superficial do solo (0-20 cm), a fração COAM representou 84% do conteúdo total de C no PD, enquanto no PC e PM esta fração representou, 91 e 90%, respectivamente, do C total.

Neste contexto, o resultado evidencia a maior oxidação do C na fração lábil no PC e no PM em comparação com o PD. No PC constatou-se a redução de $5,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ do COP da camada 0-20 cm para a camada 20-40 cm em relação ao PD enquanto na fração COAM essa redução foi de $10,8 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Os estoques de C das frações COP e COAM foram maiores no PD em relação ao PC e a diferença significativa ocorreu na profundidade de 0-20 cm. O COP e COAM apresentaram mais C sob PD do que sob PC, 85% (4,5 Mg C ha⁻¹) e 20% (12,4 Mg C ha⁻¹) respectivamente. O PD apresentou diferença entre o PC e o PM obtendo o maior estoque total (0-100 cm) de COP e de COAM. Este representou aumento de 23% e 6% para COP e COAM, respectivamente, quando comparado ao PC.

Tabela 19: Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pelo manejo até 1 m de profundidade, em PG e LRV.

Local	Uso do solo	Frações	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)					
			0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-100
PG	PC	COP	6,0 b	1,8 a	0,9 a	0,7 a	0,6 b	10,23 b
		COAM	61,4 B	50,7 A	47,1 A	41,3 A	38,3 A	239,26 A
	PM	COP	6,7 b	1,2 b	0,9 a	0,7 a	0,9 a	10,64 b
		COAM	63,3 B	46,1 B	42,3 AB	37,4 A	34,7 AB	226,1 A
	PD	COP	10,5 a	0,84 c	0,69 b	0,6 a	0,5 b	13,33 a
		COAM	73,9 A	52,3 A	47,1 A	41,3 A	38,5 A	253,25 A
LRV	PC	COP	7,4 c	2,4 bc	2,0 c	2,0 ab	2,0 ab	16,0 bc
		COAM	27,3 C	19,2 C	15,4 B	13,1 AB	13,2 A	88,5 C
	PD1	COP	10,9 a	2,7 b	2,2 b	2,0 ab	1,8 bc	19,8 a
		COAM	34,0 A	22,3 B	15,8 B	14,0 A	13,8 A	100,1 AB
	PD2	COP	6,9 cd	3,0 ab	2,2 b	2,0 a	2,0 b	16,2 bc
		COAM	30,5 B	24,4 A	17,0 A	14,1 A	13,2 A	99,5 AB
	PD3	COP	9,6 b	3,4 a	2,2 b	2,0 a	1,8 bc	19,2 a
		COAM	34,4 A	24,5 A	16,8 AB	13,6 AB	12,9 A	102,4 A
	PD4	COP	9,5 b	2,7 b	2,5 a	2,0 a	2,1 a	19,0 ab
		COAM	31,7 B	23,7 AB	17,4 A	13,9 A	13,3 A	100,1 AB

COP: Carbono Orgânico Particulado. Letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$). COAM: Carbono Orgânico associado aos minerais. Letras maiúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

Em LRV o COP e o COAM apresentaram 31% (3,48 Mg C ha⁻¹) e 20% (6,79 Mg C ha⁻¹) mais C sob PD do que em PC, respectivamente. O ganho de C (10,4 Mg ha⁻¹) na camada 0-20 cm, com a conversão em PD foi atribuído as duas frações, sendo 25% ao COP e 75% ao COAM.

Em contraste com com PG, o COP em LRV representou maior porção do estoque total de C variando entre 14% a 17% nos sistemas de plantio direto até 1 m de profundidade.

O COP e o COAM apresentou em média, 14% ($1,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$) e 9,7% ($5,10 \text{ Mg C ha}^{-1}$) respectivamente, mais C sob PD do que em PC (Figura 13). Entre os sistemas de culturas em PD, o PD3 apresentou a maior fração do COAM no estoque de C e coincide com a maior adição de matéria seca ($158,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e maior entrada de C ($67,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Dessa forma, acredita-se que o elevado aporte anual de C condicionou a migração do C da fração COP para a fração COAM.

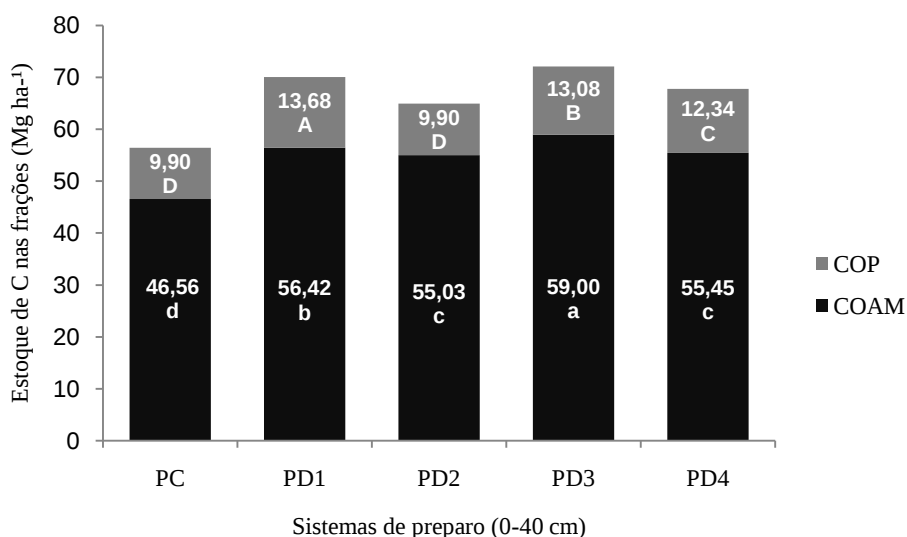


Figura 13: Estoques de C nas frações COP e COAM em LRV. Letras maiúsculas (COP) e minúsculas (COAM) diferentes nas barras diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

Sá e Lal (2009), reportaram que o COP está relacionado com o aporte de resíduos ao sistema, embora significativa a relação linear entre o COP e o C acumulado ($\text{COP} = 0,085\text{C}_{\text{acumulado}} + 7,023$; $R^2 = 0,45$; $P < 0,05$) em LRV foi inferior à obtida pelos autores. Todavia, a relação linear entre a fração COAM ($\text{COAM} = 0,333\text{C}_{\text{acumulado}} +$

36,00; $R^2 = 0,99$; $P < 0,001$) foi significativa e superior ao COP (figura 14), evidenciando uma migração do C da fração COP para a fração COAM.

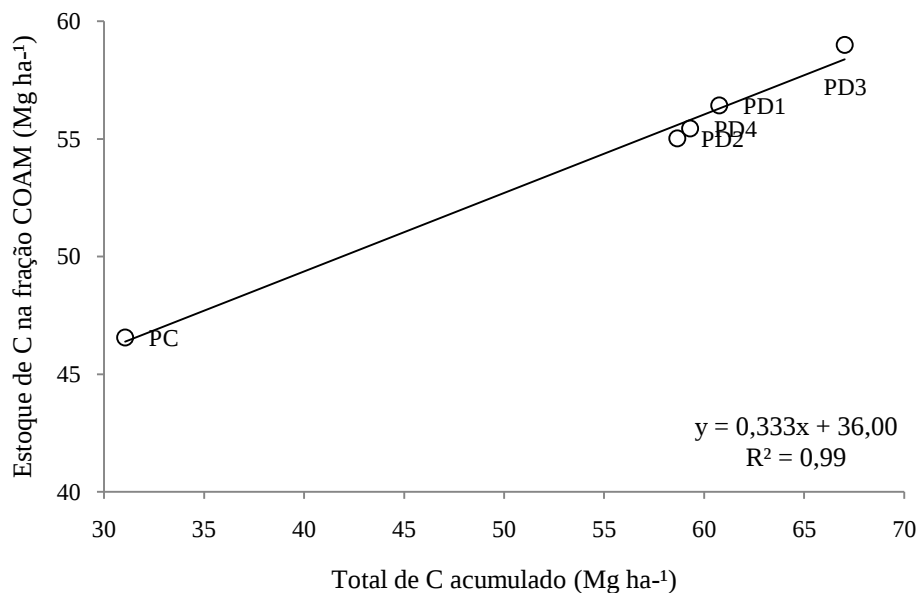


Figura 14: Relação entre o total de C acumulado no sistema através de matéria seca e o estoque de C na fração COAM em LRV.

Os sistemas de culturas em PD apresentaram maior estoque de COAM, mostrando o impacto positivo possivelmente pelo uso de espécies forrageiras a exemplo da *B. ruziziensis*, em associação com o milho ou sorgo. Essas espécies estão intensificando a macroagregação no solo possibilitando que o C migre para a fração COAM.

4.5.3. Carbono oxidável, carbono nos polissacarídeos totais, carbono orgânico extraído com água quente e carbono recalcitrante

4.5.3.1. Carbono oxidável C-OX

O C-OX representou 67%, 73% e 74% do COT respectivamente para PM, PC e PD para a camada de 0-5 cm de profundidade, abaixo da camada 5-10 cm, o PM apresentou os menores conteúdos de C-OX (Tabela 20).

Em média, o PD em LRV, apresentou 21% ($4,0 \text{ g kg}^{-1}\text{C}$) de C-OX a mais que o PC na camada 0-5 cm de profundidade, representando 79% e 78% do COT, respectivamente, para PD e PC para a mesma camada.

A menor representatividade da fração oxidável no COT em PG, é explicada pelos fatores dos solos subtropicais refletirem o maior conteúdo de C quimicamente estabilizado, inacessibilidade espacial de C dentro de macroagregados e interação com a fração associada aos minerais conduzindo a uma oxidação parcial de C com o dicromato de K pelo método de Walkley-Black.

Tabela 20: Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pelo manejo até 1 m de profundidade em PG e LRV.

Profundidade em PG e LRV:																
Intervalo da camada do solo	Local															
	PG						LRV									
	PC		PM		PD		PC		PD1		PD2		PD3		PD4	
Conteúdo de C-OX (g kg ⁻¹)																
0-5	35,0	c	41,7	b	62,5	a	18,3	b	25,2	a	19,7	ab	23,6	a	24,0	a
5-10	35,0	c	40,6	b	44,3	a	17,5	b	21	a	18,3	ab	20,8	a	18,8	ab
10-20	33,8	a	30,3	b	32,1	a	13,4	b	18	a	16,2	ab	18,4	a	16,7	ab
20-40	28,5	a	25,4	b	28,5	a	9,5	c	11	abc	12,1	ab	12,3	a	11,7	ab
40-60	24,2	a	22,4	b	24,1	a	7,9	b	8,2	ab	8,9	ab	8,7	ab	9,1	a
60-80	21,8	a	20,0	b	21,8	a	7,1	b	7,5	ab	7,6	a	7,1	ab	7,5	ab
80-100	20,2	a	18,7	b	20,3	a	7,1	a	7	a	6,8	a	6,6	a	6,9	a
Conteúdo de C-PT (g kg ⁻¹)																
0-5	8,8	b	10,8	ab	14,8	a	2,6	b	4,5	a	4,1	ab	4,0	ab	4,4	a
5-10	8,8	ab	10,1	a	10,1	a	2,4	c	3,7	a	3,4	b	3,7	a	3,4	b
10-20	8,1	a	8,4	a	8,2	a	2,2	b	3,3	a	3,1	a	3,1	a	3,1	a
20-40	8,5	a	7,8	a	8,2	a	2,1	b	3,0	a	3,1	a	3,0	a	3,1	a
40-60	7,4	a	7,0	a	6,7	a	2,0	b	2,3	ab	2,4	a	2,4	a	2,1	ab
60-80	6,1	a	5,6	a	5,9	a	1,7	b	2,1	a	1,8	ab	1,9	ab	2,1	bc
80-100	5,6	a	5,4	a	5,1	a	1,5	c	2,0	a	1,5	c	1,8	b	1,8	ab
Conteúdo de C-AQ (g kg ⁻¹)																
0-5	0,9	c	1,3	b	2,2	a	0,4	ab	0,4	b	0,3	b	0,7	a	0,4	ab
5-10	0,6	bc	0,8	b	1,8	c	0,3	ab	0,2	bc	0,2	bc	0,5	a	0,3	b
10-20	0,4	bc	0,5	b	1,0	a	0,2	b	0,2	c	0,1	cd	0,3	a	0,3	b
20-40	0,2	b	0,3	ab	0,5	a	0,2	a	0,1	b	0,1	c	0,2	a	0,2	a
40-60	0,2	ab	0,2	a	0,2	ab	0,2	bc	0,1	bc	0,1	b	0,2	a	0,1	c
60-80	0,1	ab	0,2	a	0,1	c	0,1	b	0,1	ab	0,1	b	0,1	a	0,1	b
80-100	0,1	a	0,1	b	0,0	b	0,1	b	0,1	a	0,0	bc	0,1	a	0,0	bc
Conteúdo de C-R (g kg ⁻¹)																
0-5	7,7	b	8,5	ab	9,0	a	2,4	ab	3,6	a	3,3	ab	3,6	a	3,2	b
5-10	7,7	a	7,7	a	7,5	a	2,4	c	3,2	a	3,1	a	3,0	ab	2,8	b
10-20	7,3	a	7,2	a	6,9	ab	2,6	bc	3,2	ab	3,1	ab	3,5	a	3,0	b
20-40	7,3	a	7,3	a	7,0	ab	2,5	bc	3,0	b	3,4	a	3,0	ab	3,0	ab
40-60	7,3	a	7,3	a	7,1	ab	2,6	c	3,0	b	3,1	ab	3,4	a	3,1	ab
60-80	7,5	a	7,2	b	7,2	ab	2,5	c	3,3	b	3,4	ab	3,9	a	3,2	bc
80-100	7,5	a	7,2	ab	7,4	a	2,6	c	3,2	b	3,8	a	3,1	bc	3,3	b

Letras diferentes na linha para o mesmo local diferem estatisticamente pelo teste de LSD – Student ($P < 0,05$).

4.5.3.2. Carbono nos polissacarídeos totais C-PT e carbono orgânico extraído com água quente C-AQ

As diferenças encontradas para os conteúdos de C-PT em PG foram evidenciadas apenas entre PD e PC para a camada 0-5 cm (Tabela 20). O conteúdo de C-AQ no PD foi significativamente superior ao PC até 20 cm de profundidade, enquanto diferenças foram observadas somente na camada superficial em PG para o C-PT (Figura 15).

A representação desta fração no COT para o PD (0-5 cm) foi de 60 %, evidenciando que a quantidade de compostos orgânicos oriundos da combinação de culturas adotadas no experimento era predominante constituída de carboidratos (Canalli, 2009).

Em LRV, o conteúdo de C-PT na camada de 0-20 cm (Tabela 20), foi em média nos sistemas de culturas sob PD de $27,35 \text{ g kg}^{-1}$, representando 34% superior ao encontrado no PC. O menor conteúdo de C-PT entre os sistemas de culturas sob PD, foi no PD2 ($26,3 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de 0-20 cm.

A composição química do material que origina polissacarídeos é um dos principais fatores que influenciam seus conteúdos no solo (Oades, 1984), assim como a velocidade de decomposição do resíduo que também é governada pela relação C/N. Wisniewski e Holtz (1997) verificaram que a relação C/N dos resíduos de milho foi igual a 43/1. É uma das mais altas relações C/N dentre os resíduos de culturas utilizadas no Brasil em PD (AITA et al. 2001; HEINRICHS et al., 2001; TORRES et al., 2005), possivelmente este fato acarretaria em maiores conteúdos de C no solo. Plantas com alta relação C/N tem sua decomposição mais lenta do que plantas com baixa relação C/N, como as leguminosas (AITA et al., 2004).

Portanto, os resíduos produzidos no PD2 (Tabela 14), podem ter contribuído com a baixa relação C/N resultando em menor conteúdo de C-PT.

O conteúdo de C-AQ no solo sob PD para ambos os locais, foi positivamente correlacionada com o conteúdo de C-PT sugerindo que os carboidratos solúveis foram os componentes predominantes do C-AQ e que a cada grama de C-PT adicionado, obteve-se aumento de 0,49 gramas de C-AQ (Figura 16).

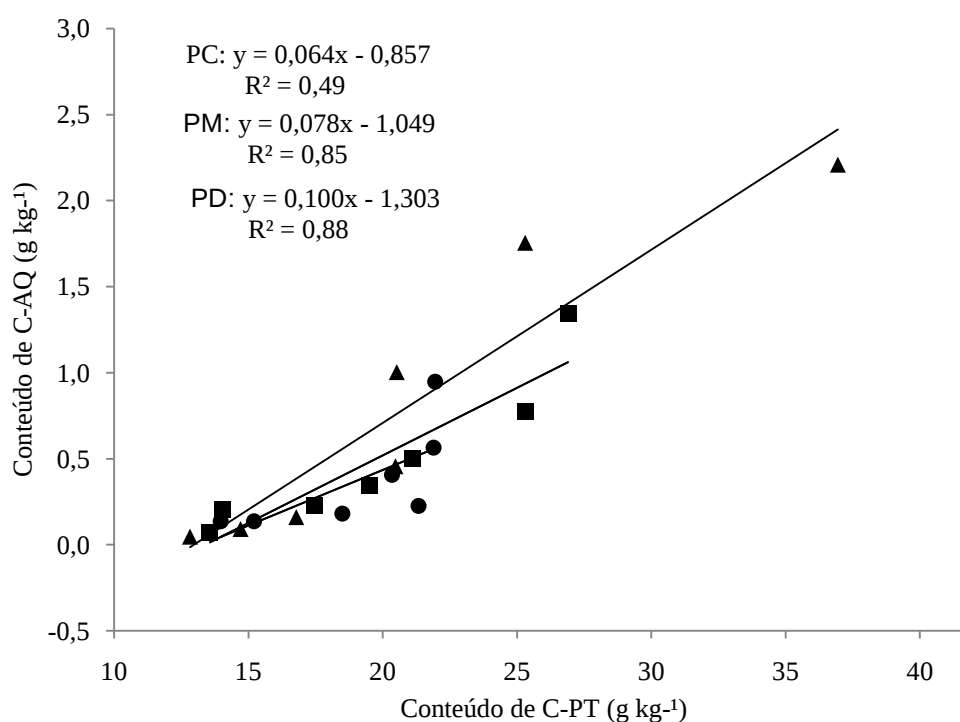


Figura 15: Relação entre o conteúdo de C-PT (g kg^{-1}) e CAQ (g kg^{-1}) de acordo com o intervalo das camadas do solo (cm) para PC, PM e PD em PG.

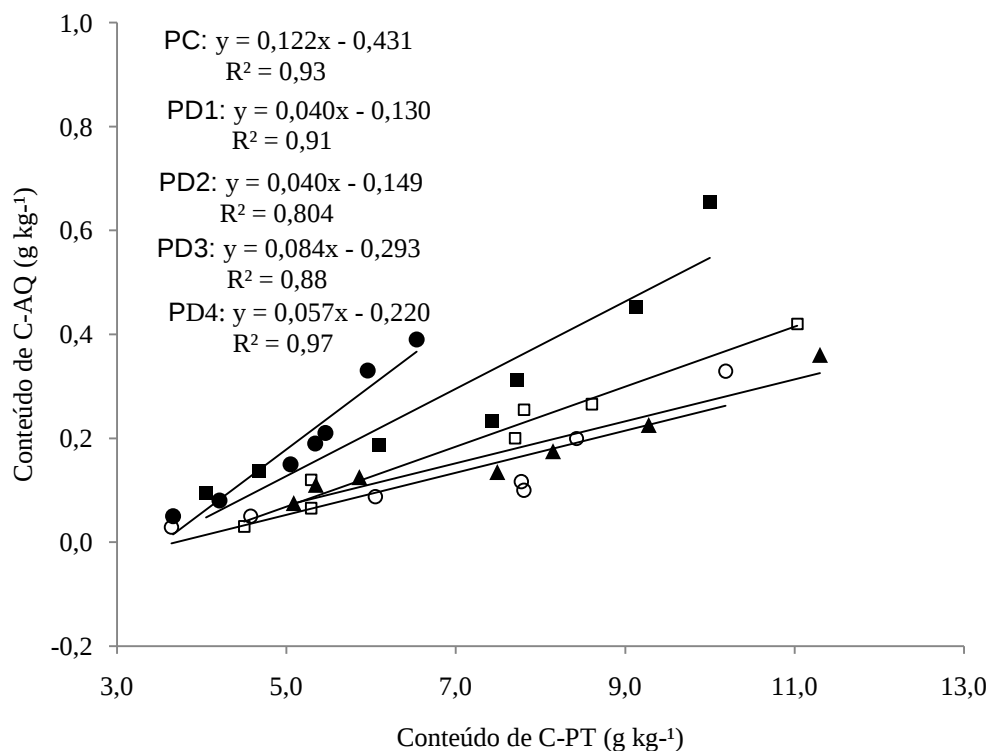


Figura 16: Relação entre o conteúdo de C-PT (g kg⁻¹) e C-AQ (g kg⁻¹) de acordo com o intervalo das camadas do solo (cm) para PC e PD's em LRV.

Ocorreu a elevação do conteúdo de C-AQ em profundidade (Tabela 20) para ambos os locais e tal fato indicou que poderia estar ocorrendo translocação de C-AQ em profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Andreola (1996) em solos sob cultivo.

4.5.3.3. *Carbono recalcitrante – C-R*

Em PG, o conteúdo do C-R diferiu significativamente entre os modos de uso do solo na camada superficial com 7,6 e 9, 0 g kg⁻¹ em PC e PD, respectivamente. Conteúdo semelhante de C-R foi constatado desde a camada de 5-10 cm até 1 m de profundidade entre os usos do solo (Tabela 20).

Observou-se que a proporção de C-R aumentou com a diminuição do C em profundidade e variou de 14% na camada superficial para 49% nas camadas mais

profundas. Em LRV, o sistema de PD1 e PD3 apresentaram maiores conteúdos de C-R (3,64 e 3,64 g kg⁻¹) respectivamente para a camada 0-5 cm, representando aproximadamente 17% do COT (Figura 17).

Os resíduos vegetais provenientes deste sistema são ricos em lignina (PARIZ et al 2010; OLIVEIRA et al 2011; CASTRO et al. 2008; LEAL 2006; DIAS et al. 2010), precursor químico da humina, ácidos húmicos e outros compostos recalcitrantes (SANTOS e CAMARGO, 1999) o que contribui para explicar o elevado conteúdo de C-R.

Nesse sentido, Martins et al (2009) afirmaram que solos que receberam resíduos com baixa porcentagem de lignina possuíam matéria orgânica menos recalcitrante e, portanto, foram mais sensíveis às variações climáticas, químicas e microbiológicas resultando em maior velocidade de degradação da matéria orgânica do solo.

Entretanto em áreas de PD, a agregação e a redução da decomposição, possibilitam a proteção do C-lábil, o qual processa-se humificando progressivamente.

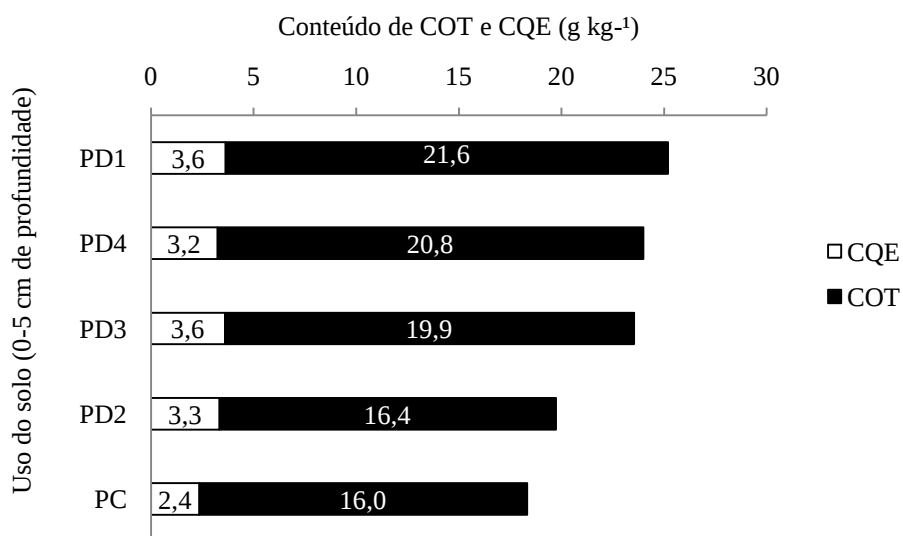


Figura 17: Proporção do C-R (barra vazia) no carbono orgânico total - COT (g kg⁻¹) para a camada 0-5 cm de profundidade em LRV.

Frações de C-R, são as menos responsivas à alterações no uso do solo, mas apresentam os maiores tempos médios de residência no solo (ROVIRA e VALLEJO, 2002), o que possibilitaria maior estocagem desses elementos no ecossistema.

4.6. CONCLUSÕES

O acúmulo de C no solo em plantio direto ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo.

O PD promoveu aumento no estoque de COT na camada de 0–20 cm do solo, em comparação ao PC. Esse efeito foi dependente do sistema de cultura utilizado.

Em ambos os locais ocorreu diferenças significativas nos estoques de C entre PC e PD. A taxa anual de acúmulo de C no solo sob PD foram aumentados em cerca de 0,85 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em PG e 1,45 a 2,19 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em LRV quando se considera o perfil do solo até 100 cm de profundidade.

Os estoques de C das frações particuladas e associadas aos minerais foram maiores no PD em relação ao PC em PG e LRV para a camada do solo de 0-20 cm de profundidade.

O conteúdo de C-AQ no solo sob PD para ambos os locais, foi positivamente correlacionada com o conteúdo de C-PT.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Em PG, o solo em PD acumulou mais 17,0 e 14,3 Mg ha⁻¹ de C do que nos solos sob PC e PM na profundidade de 0-20 cm, o que representa uma taxa anual de acúmulo de C de 0,71 a 0,85 Mg C ha⁻¹ nos 20 anos de experimentação. A manutenção do PC após a conversão do Cerrado para área agrícola, o estoque médio de C do solo a 0-20 cm de profundidade diminuiu de 48,0 Mg ha⁻¹ no Cerrado a 33,8 Mg ha⁻¹ no PC. Na camada de 0-100 cm, a diferença entre PC e o Cerrado (29,2 Mg C ha⁻¹) representou uma queda de 22% de C após de 13 anos de PC, o que significa uma perda de 2,24 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Estoques de C total nos tratamentos PD em LRV foram semelhantes com os estoques da vegetação nativa e mostrou a capacidade para reconstruir a matéria orgânica do solo. Em ambos os locais houve diferenças significativas nos estoques de C entre PC e PD. As frações granulométricas da MOS foram sensivelmente afetadas pelo PC em PG. O C orgânico extraído com água quente, o C orgânico particulado, no perfil do solo (0-100 cm) apresentaram, respectivamente, 143% (3,49 Mg C ha⁻¹) e 135% (13,8 Mg C ha⁻¹) menos C no PC do que na vegetação nativa, refletindo a baixa sustentabilidade deste sistema. Em PG, as frações do C orgânico da vegetação nativa e do PD apresentaram elevada estratificação em profundidade com C particulado (> 53 µm). Em LRV, os sistemas de PD com alta entrada de C apresentaram estoques da COP e COAM semelhantes com a vegetação nativa do Cerrado nas profundidades de 0-20 cm. Os sistemas de culturas em PD apresentaram maior estoque em COAM mostrando o impacto positivo do uso da espécie forrageira de *B. ruziziensis*, em associação com milho ou sorgo, na COP, mas também na fração fisicamente estabilizada de C (COAM). O desmatamento e a conversão em lavoura com preparo convencional para ambos os locais, foi associado com uma redução acentuada dos compartimentos de C orgânico (C-PT, C-AQ, COP).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.1, p.157-165, 2001.

AITA, C.; GIACOMINI S.J. ; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C.; FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - Dinâmica do nitrogênio no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.739-749, 2004.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. e BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. R. Bras. Ci. Solo, 23:679-686, 1999.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B. C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. Journal of Environmental Quality, Stanford, v. 35, p. 1599-1607, 2006.

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

ANDREOLA, F. Propriedades físicas e químicas do solo e produção de feijão e de milho em uma terra roxa estruturada em resposta à cobertura vegetal de inverno e à adubação orgânica e mineral. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 103p. (Tese de Doutorado)

ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO (Brasília, DF). Plantio direto tropical. Disponível em: <<http://www.apdc.com.br>>. Acesso em: 10/07/2012.

BATTLE-BAYER, L.; BATJES, N.H.; BINDRABAN, P.S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.137, p.47-58, 2010.

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 CO₂. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, jul./set. 2000.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

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

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C. e MIELNICZUK, J. Interferência da fração mineral na estimativa do grau de humificação da matéria orgânica em agregados organo-minerais por ressonância paramagnética eletrônica. R. Bras. Ci. Solo, 24:11-17, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil Tillage and Research, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. Plant and Soil, The Hague, v. 238, p. 133-140, 2002.

BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. e MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. Soil Till. Res., 91:217-226, 2006.

BERNOUX M.; ARROUAYS D.; CERRI C.C. e BOURENNANE H. Modeling vertical distribution carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). *SoilSci.*, 163:941-951, 1998.

BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, 2006. p.285-304.

BLANCO-CANQUI, H. e R. LAL. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. *Soil Science Society of America Journal* 72:693-701.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A. BAYER, C.; DIECKOW, J. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*. V. 16, , p. 784–795, February 2010

BOGNOLA, I., A., FASOLO, P., J.; BHERING, S., B.; MARTORANO, L., G. Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. Solos, Clima e Vegetação da Região de Campos Gerais in: MACHADO, P. L. O. A. Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 2004.

BORTULUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, conteúdo de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v. 24: p. 449-457, 2000.

BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E. e ROSCOE, R.. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; C. Bayer, T. Lovato, J. Dieckow, J.A. Zanatta, J. Mielniczuk. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil and Tillage Research* Volume 91, Issues 1-2, December 2006, Pages 217-226

BREVAULT, T., BIKAY, S., MALDES, J.M., NAUDIN, K., 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil & Tillage Research* 97, 140–149.

BRUCE, J.P. et al. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 54, p. 382-389, 1999.

BRUN, E. J. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* em duas regiões do Rio Grande do Sul. 2008. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CALEGARI, A. et al. Impact of Long-Term No- Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. *Agronomy Journal*, v. 100, p. 1013- 1019, 2008.

CANALLI, L. B. Decomposição de resíduos culturais e sua contribuição nos macroagregados e na fração lábil da matéria orgânica do solo no sistema plantio direto. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2009. 112p. (Tese de Doutorado).

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, v.103, p.342-349, 2009.

CASTRO, O., P., C., M.; RÊGO, M., M., T.; AGUIAR, E., M.; LIMA, G., F., C.; MACIEL, F., C.; LÔBO, R., N., B.; LIRA, M., A.. Composição bromatológica da silagem de sorgo com níveis crescentes de girassol. V Congresso Nordeste de Produção Animal. Aracaju-SE. 2008.

CASTRO FILHO, C., LOURENÇO, A., DE F. GUIMARÃES, M. e FONSECA, I. C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.65, n.1, p.45-51. 2002.

CAST - Council for Agricultural Science and Technology. Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture. Task Force Report, n. 141, 2004. 120 p.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J.L.I.; FERNANDES, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p.267-270, 1985.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. *Boletim informativo da SBSCS*. Campinas, v. 23, p. 40-44, 2007.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M. e CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Sci. Agric.*, 64:83-99, 2007.

CHAPUIS LARDY, L.; BROSSARD M.; LOPES ASSAD, M.L.; LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.92, p.147-158, 2002.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. e GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte e depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.

CORBEELS, M., SCOPEL, E., CARDOSO, A., BERNOUX, M., DOUZET, J.M., SIQUEIRA NETO, M., 2006. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. *Global Change Biol.* 12, 1–1

DIAS, F., J.; JOBIM, C., C.; FILHO, J., L., S.; JUNIOR, V., H., B.; POPPI, E., C.; SANTELLO, G., A.. Composição química e perdas totais de matéria seca na silagem de planta de soja. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* Maringá, v. 32, n. 1, p. 19-26, 2010

DIECKOW, J., MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGELKNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influence by long-term no-till cropping systems and N fertilization and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization. *Plant and Soil* 268: 319-328, 2005.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.C.M.; MIELNICZUK, J. e HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *Europ. J. Soil Sci.*, 60:240-249, 2009.

DONTSOVA KM, BIGHAM J.M. Anionic Polysaccharide adsorption by Clay Minerals. *Soil Science Society American Journal* 69, 1026-1035. 2005

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: *DYNAMICS of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawai, 1989. Cap.2, p.33-67.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Dispersion of soil particles by sonic vibration. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 18, n. 1, p. 47-63, Mar. 1967.

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

FAVORETTO, C.M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D.M.B.P.; ROSA, J.A.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A.M. e SAAB, S.C. Determination of humification degree of organic matter of an oxisol and of its organo-mineral fractions. *Química Nova*, 31, n.8, 1994-1996, 2008.

FELLER, C. La matière organique dans le sols tropicaux à argiles 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une aproche granulométrique. These Doct. Es Science, Univ. Strasbourg (ULP). 1994. 393 p.

FERRERA, D., F. Programa Sisvar.exe: sistema de análise de variância. Lavras: UFLA, 1999.

FRANK, A.B.; LIEBIG, M.A.; TANAKA, D.L. Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland. *Soil & Tillage Research*, 89, p.78–85, 2006.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biol, Biochem*, v. 35, p. 1231–1243, 2003.

HEINRICHS, R.. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.2, p.331–340, 2001.

HELFRICH, M., FLESSA, H., MIKUTTA, R., DREVES, A., AND LUDWING, B. Comparison of chemical fractionations methods for isolating stable soil organic carbon pools. *Eur. J. Soil Sci.*, 58:1316-1329. 2007.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*. v. 1 , n. 1, p. 147-155, jul. 2005.

KOHL, R.A. e STERLING A. TAYLOR. 1961. Hydrogen bonding between the carbonyl group and Wyoming bentonite. *Soil Science* 91: 223-227.

KONG, A.Y.Y., J. SIX, D.C. BRYANT, R.F. DENISON, AND C. VAN KESSEL. 2005. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 69:1078-1085.

LAL, R.; *Global Climate Newsletter* 1999, 37, 4.

LAL, R.; KIMBLE, J. e STEWART, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. e STEWART, B.A., eds. *Soil management and greenhouse effect*. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995. p.1-7.

LAL, R.; LOGAN, T. J.. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. P. 293-307. In: Lal, R.; Kimble, J., M.; Levine, E.; Stewart, B., A. (ed). Soil management greenhouse effect. CRCPress Boca Raton, FL. 1995.

LEAL, M., A., A.. Produção e eficiência agronômica de compostos obtidos com a palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas Guerra. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia. 2006.

LOWE, L. E. Total and labile acid extractable polysaccharide analysis of soils. In: Center, M. R. (Ed), Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton: Lewis, p. 373-376, 1993.

MARTINS, E., L.; CORINGA, J., E., S.; WEBER, O., L., S.; Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. Acta amazônica. vol. 39(3) 2009: 655 – 660

MAACK, R. Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná. Curitiba: Inst. Biol. Pesq. Tecnol. e Inst. Nac. Pinho. 1968.

MARCHIORI JÚNIOR, M. e MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. Pesq. Agropec. Bras., 35:1177-1182, 2000.

MELO, M. S., GUIMARÃES, G. B., BARBOLA, I. F., MORO, R. D., GEALH, A. M., MOREIRA, J. C. Avaliação do patrimônio natural dos campos gerais do paraná: uma abordagem interdisciplinar. Anais da 58^a Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-8.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. e DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. e ALVAREZ V., V.H. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MORAES, J. F. L.; NEILL, C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELILLO, J.; LIMA, V. C.; STEUDLER, P. Soil carbon and nitrogen stocks following forest conversion to pasture in the western brazilian Amazon basin. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 24, n. 5, p. 1369-1376, 2002.

NELSON. D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In-Method of soil analysis: chemical methods. Parte 3. D. L. Sparks. Soil Science Society of America, Madison, pp. 961-1010, 1996.

OADES, J., M.. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, The Hague, v.76, p.319-337, 1984.

OLIVEIRA, I., K., C., P.; SILVA, H.; CONRADO, L., S.; SILVA, F.; L., H... Caracterização físico-químico do bagaço do sorgo sacarino (*sorghum bicolor*) para hidrólise ácida do material lignocelulósico. *Anais COBEC*. Uberlândia . Minas Gerais. 2009.

PARFITT, R. U e GREENLAND, D. J. (1970) Adsorption of polysaccharide by montmorillonite: *Soil Sci. Soc.*

PARIZ, C., M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M., V.; BERGAMASCHINE, A., F.; MELLO, L., M., M.; LIMA, R., C.. Massa seca e composição bromatológica de quatro espécies de braquiárias semeadas na linha ou a lanço, em consórcio com milho no sistema plantio direto na palha. *Maringá*, v. 32, n. 2, p. 147-154, 2010.

PIRES, L.F.; CÁSSARO, F.A.M.; REICHARDT, K. e BACCHI, O.O.S. Soil porous system changes quantified by analysing soil water retention curve modifications. *Soil Till. Res.*, 100:72-77, 2008.

RESCK, D.V.S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. Soil quality and agricultural sustainability. Michigan, Ann Arbor Press, 1998.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma*, Amsterdam, v. 107, n. 1-2, p. 109-141, 2002.

SÁ, J., C., M.; CERRI, C., C.; DICK, W.A., LAL, R., VENSKE-FILHO, S., P., PICCOLO, M., C., FEIGL, B., E.. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci.Soc. Am. J.* v.65, p.1486-1499, 2001.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter posols as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil Till. Res.* 103:46-56, 2009.

SÁ, M. F. M. Os solos dos campos Gerais in: MELO, M. S; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (Eds). *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. Ponta Grossa. Editora UEPG, 2007, p.73-83.

SANTOS, G., A.; CAMARGO, F., A., O.. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Ed. Genesis, Porto Alegre, Brasil. 508pp. 1999.

SÉGUY, L., S. BOUZINAC, e O. HUSSON. 2006. Direct-Seeded tropical soil systems with permanent soil cover: learning from Brazilian experience.p.323-342. In N. Uphoff et al., (eds) *Biological approaches to sustainable soil systems*. Taylor and Francis Group, CRC Press Publ., Boca Raton, FL.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRETINI, A.; CÔRTEZ, N. A. D. Direct seeding an organic soil management technique. Montpellier: CIRAD, 1998. p.38-60.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MAEDA, E.; MAEDA, N. Large scale mechanized direct drilling of cotton in Brazil. The ICAC Recorder. Technical Information Section, v.16, n. 1, march 1998d. . p.11-17.

SHERROD, L. A., G.A. PETERSON, D.G. WESTFALL; L.R. AHUJA. 2003. Cropping intensity enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. Soil Science Society of America Journal, 67: 1533-1543.

SILVA, C., A.; MACHADO, P., L., A.. Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

SILVA, J.E., LEMAINSKI, J., RESCK, D.V.S., Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. R. bras. Ci. Solo 18, 541-547. 1994

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A.N.; DOUZET, J.; FELLER, C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C. e BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. Soil Tillage Res., 110:187-195, 2010.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M.. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil and Tillage Research, v.76, p.39-58, 2004.

Six J, Elliott ET e Paustian K (1999) Aggregate and SOM dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J.

STÜRMER, S., L., K.; ROSSATO, O., B.; COPETTI, A., C., C.; SANTOS, D., R., S.; CALEGARI, A.; BRUM, B.. Variações nos conteúdos de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, abr.-jun., 2011.

STRASSMANN, K. M.; JOOS, F.; FISCHER, G. Simulating effects of land use changes on carbon fluxes: past contributions to atmospheric CO₂ increases and future commitments due to losses of terrestrial sink capacity. *Tellus*, v.60A, p.583-603, 2008.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C. e FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618, 2005.

Walkley, A.; Black, I. A.; *Soil Sci.* 1934, 37, 29.

WALKLEY, A, ; BLACK. I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38, 1934.

WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. *Funct. Ecol.*, 7:346-355, 1993.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 2, n. 11, 1191-1197, 1997.

ZINN, Y. L., LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks through agriculture in Brazil. *Sil & Tillage Research*. Amsterdam, v. 84. P. 28-40, 2005.