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

CLEVER BRIEDIS

COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, AGREGAÇÃO, MECANISMOS DE PROTEÇÃO E SEQÜESTRO DE CARBONO INFLUENCIADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

CLEVER BRIEDIS

COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, AGREGAÇÃO, MECANISMOS DE PROTEÇÃO E SEQÜESTRO DE CARBONO INFLUENCIADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para a 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.

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires.

PONTA GROSSA
2010

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Processos Técnicos BICEN/UEPG

B853c

Briedis, Clever

Compartimentos da matéria orgânica do solo, agregação, mecanismos de proteção e seqüestro de carbono influenciados pela calagem superficial em sistema plantio direto. / Clever Briedis. Ponta Grossa, 2010.

86 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração : Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador : Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

Co-orientador : Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

1. Estoque de C. 2. Solo tropical 3. Agregados. 4. Ponte catiônica. 5. EDS/MEV. I. Sá, João Carlos de Moraes. II. Caíres, Eduardo Fávero. III. T

CDD: 631.8

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **"COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, AGREGAÇÃO, MECANISMOS DE PROTEÇÃO E SEQUESTRO DE CARBONO INFLUENCIADOS PELA CALAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO".**

Nome: Clever Briedis

Orientador: João Carlos de Moraes Sá

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Data da Realização: 14 de junho de 2010.

DEDICO

A minha família, pelo incentivo e apoio absoluto
ao estudo como forma de alcançar o sucesso.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia que dispuseram de ambiente físico e principalmente de professores altamente qualificados, engajados no objetivo de formar pessoas capacitadas.

À Fundação AGRISUS pelo apoio financeiro ao projeto de dissertação e à Fundação Araucária pela concessão de bolsa.

A toda equipe do LABMOS, em especial, à técnica laboratorial Jaqueline A. Gonçalves e aos alunos de graduação em agronomia Jaqueline F. Navarro, Caio Q. Netto, Thiago M. Inagaki e Adriane Boer pela ajuda nas análises. Aos colegas Ademir O. Ferreira, Lutécia B. Cannali, Josiane B. dos Santos e Florent Tivet pelo incentivo e apoio.

À professora Márcia F. M. Sá pela sutileza em seus ensinamentos e pela ajuda na redação final da dissertação. Ao professor Eduardo F. Caires pela permissão de coleta de solo em seu experimento de longa duração e pela co-orientação.

Ao professor, orientador e amigo João Carlos de Moraes Sá pela grandiosa participação na minha formação intelectual desde a graduação, pelo depósito de confiança para a realização desse trabalho e pelas sugestões construtivas para a elaboração dessa dissertação.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma maneira possibilitaram a realização dessa pesquisa.

BRIEDIS, Clever. C**ompartimentos da matéria orgânica do solo, agregação, mecanismos de proteção e seqüestro de carbono influenciados pela calagem superficial em sistema plantio direto**. 2010. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

RESUMO

A calagem é a prática mais utilizada para neutralizar a acidez do solo, porém promove também modificações químicas capazes de alterar os compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) e mecanismos de floculação, formação e estabilização de macro e microagregados. O objetivo desse trabalho foi avaliar o seqüestro de carbono, na amostra integral e nos agregados, e as alterações nos compartimentos da MOS afetados por calagem superficial em sistema plantio direto de longa duração. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho textura média, no município de Ponta Grossa, PR. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas consistiram da aplicação de calcário dolomítico na superfície do solo na dose de 0 ou 6 Mg ha^{-1} em 1993, e dose de 0 ou 3 Mg ha^{-1} em 2000 nas parcelas previamente com e sem calcário, compondo os tratamentos: 0+0; 6+0; 0+3 e 6+3 Mg ha^{-1}. As subparcelas foram constituídas pelas profundidades de coleta, sendo realizadas em 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. As coletas de solo foram realizadas em setembro de 2008 e analisados os conteúdos de carbono orgânico total (COT) na amostra total, nos agregados e nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (COAM) da matéria orgânica do solo (MOS). Agregados de 8-19 mm, da camada 0-2,5 cm, foram analisados através do uso de espectrômetro de dispersão de raios X (EDS) para a análise elementar de carbono (C) e cálcio (Ca). A calagem promoveu acúmulo de COT, principalmente na camada 0-2,5 cm. Os estoques de COT na camada de 0-20 cm foram 49,9, 52,9, 52,7 e 57,5 Mg ha^{-1} para os tratamentos 0+0, 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente. Os estoques nas frações da MOS também foram aumentados com a calagem. O aumento no estoque de COP foi estreitamente relacionado (R^2=0,98; P=0,011) com a adição acumulada de C via resíduo cultural, a qual foi mais elevada nas parcelas que receberam calagem. Houve correlação positiva entre COT e carbono em água quente (CAQ), polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL). Correlações também demonstraram que o COT teve relação mais estreita com o COP do que com COAM, sugerindo maior influência da fração lábil no aumento de COT com a calagem. Nos agregados, a calagem proporcionou acúmulo de COT principalmente na profundidade de 0-2,5 cm. A calagem aumentou o diâmetro médio ponderado (DMP), proporcionando grande estoque de COT na classe de agregado 8-19 mm. A elevada proporção de agregados grandes nos tratamentos com calagem foi estreitamente correlacionado com o conteúdo de COT da amostra integral. A maior dose de calcário proporcionou aumento no estoque de COT tanto em COP quanto em COAM, visto principalmente na maior classe de agregados. A proporção de COP em relação ao COAM, na média dos tratamentos, nessa classe de agregados, diminuiu em profundidade, ficando em torno de 18, 13, 10 e 8 % nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20, respectivamente. Análise elementar de C e Ca demonstraram correlação positiva dos dois elementos contidos em uma secção da fração argila do centro de agregados de 8-19 mm. A aplicação de calcário, em solo dominado na fração argila por caulinita, traz benefícios à estruturação e promove aumento de C na amostra integral e nos agregados.

Palavras-chave: estoque de C, solo tropical, agregados, ponte catiônica, EDS/MEV.

SUMMARY

Liming is the most often practice used to neutralize soil acidity, and also promotes chemical changes that can alter the soil organic matter (SOM) pools and the mechanisms of flocculation, formation and stabilization of macro-and microaggregates. The objective of this study was to evaluate carbon sequestration, in the whole and in the aggregates samples, and the changes in the SOM pools affected by liming in a long-term no-tillage. The experiment was conducted in an Oxisol, located in Ponta Grossa, PR. The experimental design was a randomized complete block, arranged as split plot with three replications. The main plot consisted of dolomite lime applied on the soil surface at a 0 or 6 Mg ha^{-1} in 1993, and 0 or 3 Mg ha^{-1} in 2000 in plots previously with and without lime, and the treatments was assigned as: 0+0, 6+0, 0+3 and 6+3 Mg ha^{-1}. The subplots were represented by sampling depth and consist of 0-2.5, 2.5-5, 5-10 and 10-20 cm layer. The soil samples were taken in September 2008 and the total organic carbon (TOC) was analyzed in the whole sample, in the aggregates and in the particulate organic carbon (POC) and in the fraction associated with minerals carbon (OCAM). Aggregates of 8-19 mm, in the 0-2.5 cm layer were analyzed by using scan microscope spectrometer X-ray (EDS) for elemental analysis of carbon (C) and calcium (Ca). Liming promoted accumulation of TOC mainly in the layer 0-2.5 cm. The TOC stocks at 0-20 cm were 49.9, 52.9, 52.7 and 57.5 Mg ha^{-1} for 0+0, 6+0, 0+3, 6 +3 treatments, respectively. Stocks in the SOM fractions were also increased with liming. The increase in POC stock was close relationship (R^2 = 0.98, P = 0.011) with the C accumulated input through crop residue, which was higher in plots that were limed. A positive correlation was found between TOC and C extracted in hot water (CHW), total polysaccharides (TP) and labile (LP). Correlations also showed that TOC had a closer relationship with POC than with OCAM, suggesting a greater influence on the labile fraction of TOC increase with liming. In aggregate, the effect of liming in TOC accumulation was mainly in 0-2.5 cm depth. The treatments with liming showed high mean weight diameter (MWD), which provided a large stock of TOC in the 8-19 mm aggregate size. A higest proportion of large aggregates with liming was closely correlated with the TOC content of whole sample. The highest liming dosis resulted in both COP and in OCAM, in the largest class of aggregates. The proportion of POC average of the treatments in relation to OCAM, this class of aggregates, has decreased in depth, and were 18, 13, 10 and 8% at depths of 0-2.5, 2.5-5, 50-10 and 10-20, respectively. Elemental analysis of C and Ca showed a positive correlation of those elements contained in a section of clay from the center of 8-19 mm aggregates. The results suggest that application of lime in soil with clay fraction dominated by kaolinite, brings benefits to structuring and promotes an increase of C in the whole sample and in aggregates.

Key-words: C stock, tropical soil, aggregates, cation bridge, SEM/EDS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solos ácidos no mundo. Áreas com solos predominantemente ácidos estão em cor mais escura. Fonte: von Uexkull and Mutert (1995)..... 15

Figura 2. Localização geográfica do município de Ponta Grossa (esfera em preto), dentro do contexto estadual e nacional..... 29

Figura 3. Dados históricos climáticos de Ponta Grossa no período de 1954-2001; distribuição mensal da precipitação pluvial (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■Tmáx) e temperatura mínima (▲Tmin). Fonte: IAPAR, 2010..... 30

Figura 4. Relação entre estoque de carbono orgânico particulado (COP) na camada 0-20 cm e a adição acumulada de carbono (C) durante 15 anos, afetados por doses de calcário na superfície em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. §Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário, em Mg ha^{-1}, aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. As barras verticais e horizontais indicam o erro padrão das médias do estoque de COP e da entrada acumulada de C, respectivamente..... 43

Figura 5. Relação entre o carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT) em um Latossolo Vermelho submetido à calagem superficial sob plantio direto..... 51

Figura 6. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade..... 61

Figura 7. Relação entre a porcentagem de solo da fração de agregado 19-8 mm e conteúdo de carbono orgânico total (COT) da amostra integral, afetados por doses de calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, em quatro profundidades de estudo. Equações: 0-2,5 cm: *MS=40,5+1,51COT (P=0,01)*; 2,5-5 cm: *MS=67,3+0,76COT (P=0,21)*; 5-10 cm: *MS=28,2+2,93COT (P=0,0006)*; 10-20 cm: *MS=-74+4,16COT (P=0,04*). §Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário, em Mg ha^{-1}, aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. As barras verticais e horizontais indicam o erro padrão das médias da massa de solo da fração de agregado 19-8 mm e conteúdo de COT da amostra integral, respectivamente..... 65

Figura 8. Proporção de carbono orgânico particulado (COP) em relação ao carbono associado aos minerais (COAM) no reservatório total de

carbono orgânico total (COT), em classes de agregados nas quatro profundidades estudadas..... 68

Figura 9. Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X (EDS) na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, nos tratamentos 0+0, 0+3, 6+0 e 6+3 Mg ha^{-1} em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Linha branca na foto representa o local da leitura dos 512 pontos. Conjuntos de gráficos, no terço superior e médio da figura, representam a contagem Ca e C, respectivamente no decorrer da linha..... 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Aportes de matéria seca e carbono (C) via resíduos culturais referente a 15 anos do experimento..... 32

Tabela 2. Média e desvio padrão da densidade do solo determinada em quatro camadas de solo em todas as unidades experimentais..... 33

Tabela 3. Caracterização dos atributos de fertilidade do solo no ano de 2008.... 37

Tabela 4. Conteúdo e estoque de carbono orgânico total (COT) afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.... 39

Tabela 5. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 42

Tabela 6. Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 45

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson, envolvendo todos os dados (n=48), entre os compartimentos da matéria orgânica do solo e atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 48

Tabela 8. Conteúdo de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 59

Tabela 9. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 64

Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) dentro de cada classe de agregado, afetado pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto..... 67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 12

2 REVISÃO DA LITERATURA..... 14

2.1 Produção agrícola em solos ácidos..... 14

2.2 Reservatórios globais de carbono e efeito estufa..... 17

2.3 Proteção da MOS..... 19

2.4 Influência da calagem no seqüestro de carbono..... 22

2.4.1 Formação de ponte catiônica..... 22

2.4.2 Contribuição do sistema radicular devido à ação da calagem..... 24

3 COMPARTIMENTOS DA MOS E TAXA DE SEQUESTRO DE C AFETADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO..... 25

3.1 RESUMO..... 25

3.2 SUMMARY..... 26

3.3 INTRODUÇÃO..... 27

3.4 MATERIAL E MÉTODOS..... 29

3.4.1 Localização e caracterização da área experimental..... 29

3.4.2 Delineamento experimental e tratamentos..... 30

3.4.3 Entrada anual de C via resíduos..... 31

3.4.4 Amostragem do solo..... 32

3.4.5 Conteúdo de COT e NT..... 33

3.4.6 Estoque de COT..... 33

3.4.7 Determinação de carbono oxidável (COX)..... 34

3.4.8 Determinação de polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL)..... 34

3.4.9 Determinação de carbono extraído em água quente (CAQ)..... 35

3.4.10 Determinação de carbono recalcitrante (CR)..... 35

3.4.11 Procedimento para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica (FGMOS)..... 36

3.4.12 Atributos de fertilidade..... 36

3.4.13 Análise estatística..... 37

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 39

3.5.1 Alterações no conteúdo e estoque de carbono orgânico total devido à calagem superficial..... 39

3.5.2 Alterações nos compartimentos da MOS provocadas pela calagem superficial..... 41

3.6 CONCLUSÕES..... 52

4 COMPARTIMENTOS DA MOS NAS CLASSES DE AGREGADOS E MECANISMOS DE PROTEÇÃO DO C ALTERADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO..... 53

4.1 RESUMO..... 53

4.2 SUMMARY..... 54

4.3 INTRODUÇÃO..... 55

4.4 MATERIAL E MÉTODOS..... 57

4.4.1 Coleta de agregados..... 57

4.4.2 Separação das classes de agregados estáveis em água..... 57

4.4.3 Cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP)..... 58

4.4.4 Análise elementar de agregados através de MEV/EDS..... 58

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 59

4.5.1 Conteúdo e estoque de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados..... 59

4.5.2 Estoque de carbono orgânico total (COT) na fração lábil (COP) e associada aos minerais (COAM)..... 66

4.5.3 Identificação da associação do Ca ao C intra-agregado..... 69

4.6 CONCLUSÕES..... 72

5 CONCLUSÕES GERAIS..... 73

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 74

1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico total (COT) do solo é três vezes superior ao carbono (C) da biomassa e o dobro do encontrado na atmosfera e, por isso, é relevante no ciclo global de carbono. A contribuição do C nos ecossistemas terrestres potencializa-se devido a sua inter-relação com o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e, dependendo do uso e manejo, o solo pode atuar como fonte ou dreno do CO_2. Além de ter um importante papel na mitigação de gases de efeito estufa, o solo é a base para a produção agrícola, necessitando-se o uso de boas práticas para a melhoria da sua fertilidade.

Na agricultura, o manejo conservacionista direciona o solo a atuar como dreno de C e o principal mecanismo está associado à manutenção de agregados, o qual protege fisicamente o C em seu interior, permitindo um ambiente menos oxidativo, comparado ao sistema de cultivo convencional, dificultando a degradação microbiana. O estágio mais avançado do manejo conservacionista é o sistema plantio direto (SPD), que consiste no mínimo revolvimento do solo, restringindo-o à linha de semeadura e associado à rotação de culturas e ao aporte contínuo de resíduos vegetais.

Em regiões tropicais e subtropicais, a acidez do solo é uma das principais causas do baixo rendimento das culturas e a amenização da acidez tem sido realizada por meio da aplicação de calcário. A dissociação dos componentes do calcário provoca a liberação de íons hidroxila (OH^-), os quais atuam no aumento de pH e na redução do Al^{+3}. Além disso, o aumento de Ca^{2+} com a calagem favorece o deslocamento dos íons Al^{3+} do complexo de troca, ocupando os sítios de troca e aumentando sua disponibilidade na solução do solo.

A calagem também provoca aumento de cargas negativas dependentes de pH no solo, devido à dissociação de H^+ da superfície das partículas coloidais. Em conseqüência, a calagem pode ocasionar, em curto prazo, a dispersão de colóides, decorrente de força de

repulsão. Com o passar do tempo, o aumento da concentração de sais com a calagem pode provocar a diminuição da espessura da dupla camada e, por conseqüência, aumentar a floculação de colóides. O íon Ca^{2+} também pode ser relevante na estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) através da sua contribuição na formação complexos com a argila e a matéria orgânica, servindo de ponte iônica de agregação. Esses eventos ocorrem em nível de micro escala, sendo observadas as modificações na fração coloidal do solo.

A melhoria da fertilidade do solo e a adoção de boas práticas de manejo têm sido o caminho para o aumento da produção das culturas, resultando em maior aporte de resíduos culturais e entrada de C no sistema. Um dos pontos chave nesse processo é o controle do Al tóxico visando obter maior desenvolvimento radicular que, além de aumentar a superfície de contato e a absorção de água e nutrientes, é um agente estabilizador de macroagregados. Além disso, as raízes também são fonte de exudatos ricos em compostos orgânicos aminados e polissacarídeos que podem ser alimento para a biomassa do solo e também atuam como agentes cimentantes na agregação do solo. Com isso, a calagem pode influenciar indiretamente na formação de macroagregados, que protegem o C da oxidação, assim como pode alterar vários compartimentos da MOS, principalmente os mais lábeis.

O objetivo desse trabalho foi mensurar a contribuição do cálcio (Ca), oriundo do calcário aplicado em superfície, no acúmulo de C, nos compartimentos da MOS e nas modificações provocadas nas classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, em experimento de longa duração com aplicação superficial de calcário em plantio direto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Produção agrícola em solos ácidos

A acidez do solo é um dos principais obstáculos à produção agrícola em muitos países, sendo particularmente importante em regiões com baixa tecnologia na agricultura, nas quais se adotam poucas práticas para corrigir os fatores de decréscimo da produtividade (GREENLAND et al, 1994).

Há várias estimativas sobre o grau de acidez dos solos no mundo. De acordo com van Wambeke (1976), solos ácidos ocupam 1.455 milhões de ha (equivalente a 11%) das terras do globo, enquanto Haug (1983) estimou que 30-40% dos solos aráveis do mundo e 70% das terras potencialmente agricultáveis são ácidas. Conforme von Uexküll & Mutert (1995), a extensão global de solos ácidos (definidos como solos com pH <5,5, nas camadas superficiais) é de 3.950 milhões de ha, ou aproximadamente 30% do total das terras livres de gelo em todo o mundo.

Os solos ácidos ocorrem mundialmente principalmente em duas faixas globais (Figura 1): a faixa norte, com clima temperado, frio e úmido, e a faixa sul, na zona tropical, com clima mais quente e úmido (VON UEXKÜLL & MUTERT, 1995).

No Brasil, os solos são em sua maioria ácidos, com níveis de Al e Mn tóxicos, baixa saturação por bases e baixo conteúdo de P (OLMOS & CAMARGO, 1976). Segundo Quaggio (2000), aproximadamente 70% do território brasileiro é composto por solos ácidos, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40%.

Figura 1. Solos ácidos no mundo. Áreas com solos predominantemente ácidos estão em cor mais escura. Fonte: von Uexkull and Mutert (1995).

Em regiões tropicais e subtropicais, os solos são normalmente ácidos devido à ocorrência de precipitação pluvial suficientemente alta para lixiviar quantidades expressivas de bases trocáveis do solo. Juntamente, a ausência de minerais primários e secundários responsáveis pela reposição dessas bases devido ao elevado de grau de intemperização não contribui com a reposição das bases no solo (MALAVOLTA, 1985). Além da ocorrência natural da acidez do solo, o próprio cultivo tende a acentuar o problema, devido à remoção de cátions na colheita e, principalmente, à aplicação de fertilizantes nitrogenados amoniacais. Ainda, corroborando com esse processo, a mineralização da matéria orgânica do solo também é uma forma de acidificar o solo (HELYAR, 1976; SÁ, 1993; CIOTTA et al., 2002).

A prática universalmente utilizada para controlar a acidez do solo é a aplicação de calcário. A calagem libera hidroxilas (OH^-), capazes de neutralizar os prótons (H^+) presentes na solução do solo, cuja reação com água é a seguinte:

$$CaCO_3 + H_2O \qquad Ca^{+2} + HCO_3^- + OH^-$$

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 \qquad (1)$$

$$OH^- + H^+ \rightarrow H_2O$$

As bases (OH^-) reagem com o Al^{+3}, o Mn^{+2} e o H^+ que foram deslocados pelo Ca^{2+} e Mg^{2+} oriundos da dissolução do calcário, fazendo com que a reação química (1) se desloque para a direita, até a neutralização da acidez do solo ou quando todo calcário aplicado for exaurido (BOHNEN, 2000), criando condições adequadas para o crescimento normal das culturas.

O cultivo contínuo do solo, geralmente, propicia a sua acidificação, independentemente do sistema de preparo. No SPD, a ausência de incorporação do calcário diminui a superfície de contato entre as partículas de solo e as do corretivo (CASSOL, 1995) Embora no SPD a acidificação seja mais intensa na superfície do solo (CAIRES et al., 1998; CIOTTA et al., 2002), a aplicação superficial de calcário, ao promover a formação de uma frente de alcalinização descendente a partir da superfície, minimiza a acidificação onde esta é mais intensa (AMARAL, 1998) e, com o passar dos anos, atinge camadas mais profundas (CAIRES et al., 2001). Inúmeros resultados em solos no Estado do Paraná com aplicação de calcário na superfície têm indicado aumentos de pH e dos conteúdos de Ca e Mg trocáveis e redução do Al trocável até camadas de 20–40 cm (OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998) ou de 40–60 cm (CAIRES et al., 2001). Além disso, as alterações nas condições químicas, físicas e biológicas do solo em SPD influenciam a dinâmica do sistema, promovendo uma resposta diferenciada à calagem superficial.

Em experimento de longa duração, Caires et al. (2008a) demonstraram que a aplicação superficial de calcário e a sua reaplicação, após nove e dois anos, respectivamente, aumentaram o pH do solo e os teores de Ca^{+2} trocável até a profundidade de 60 cm, porém os incrementos mais expressivos ocorreram na camada de 0-5 cm nas parcelas que receberam a reaplicação. Concomitantemente a isso, os conteúdos de Al^{+3} trocável e a saturação por Al^{+3} diminuíram até a profundidade de 60 cm, de acordo com as doses e a reaplicação do calcário.

Os mesmos autores também reportaram incremento no conteúdo de C acompanhando o aumento de Ca^{2+}.

Em trabalho realizado por Ciotta et al. (2004), também em SPD e com reaplicação de calcário, após doze anos da primeira calagem e quatro anos da reaplicação, houve melhoria no ambiente químico do solo, evidenciada pela elevação do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis e da saturação por bases na camada de 0-15 cm, e pela diminuição nos conteúdos de Al trocável até a camada de 0-20 cm.

A manutenção de resíduos na superfície promove aumento da MOS nas camadas superficiais (FRANZLUEBBERS, 2002a; SÁ & LAL, 2009) e maior umidade no SPD, o que facilita a absorção de nutrientes mesmo em condições adversas de acidez (CAIRES & FONSECA, 2000). Mesmo assim, Caires et al. (2005) demonstraram que a calagem superficial em SPD promoveu aumento na produção acumulada de grãos, em um estudo de 10 anos, sugerindo que ao longo dos anos, a prática gera expressivo retorno econômico. Os maiores incrementos na produção de grãos com a calagem ocorrem, principalmente, em anos com menor disponibilidade hídrica para as plantas (CAIRES et al., 2008b), pois a toxidez pelo alumínio se torna mais evidente.

2.2 Reservatórios globais de C e efeito estufa

O C é um elemento fundamental dos compostos orgânicos e através de sua combinação com hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre forma as moléculas mais importantes para a vida na Terra.

Existem cinco reservatórios globais de C que interagem entre si: o oceânico, as reservas fósseis, os solos, a biomassa e a atmosfera. O somatório de todos os reservatórios totaliza 52700 a 53685 Pg (1Pg = 10^{15}g) (ESWARAN et al., 1993) . Segundo estimativas, o solo é o maior compartimento terrestre deste elemento (KERN & JOHNSON, 1993). Para

Eswaran et al. (1993), nele está armazenado 3,0 vezes mais C do que na atmosfera (2500 Pg no solo e 750 Pg na atmosfera).

Entretanto, o reservatório atmosférico vem aumentando gradativamente nas últimas décadas em decorrência do grande consumo de biomassa fóssil (petróleo e carvão) e de florestas (devido às queimadas e à utilização para produção de energia) (REICOSKY & LINDSTRON, 1993; CERRI et al., 2004), resultado da ação antrópica. A agricultura também é uma grande emissora de C para a atmosfera. Estudos apontam que cerca de 3,3 Pg ano^{-1} de C é emitido como conseqüência da oxidação do C orgânico, devido ao preparo do solo para a produção de alimentos (LAL, 2004).

O aumento das concentrações na atmosfera de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases, como metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), tem feito com que a temperatura da Terra aumente, promovendo o chamado "efeito estufa" (CERRI et al., 2004). Esse fenômeno é essencial para a existência e manutenção da vida no planeta, porém, o aumento exagerado das emissões desses gases está gerando uma preocupação mundial em torno das mudanças do clima que essas emissões poderiam causar (HOUGHTON et al., 1983; CERRI et al., 2004; VALVERDE et al., 2004).

A ligação do C atmosférico com o C do solo ocorre através da fotossíntese, cuja taxa anual de é de 120 Pg C (LAL, 2008) e, com a morte dos vegetais resulta no acúmulo de tecido vegetal decomposto, sobre e sob o solo (raízes), e produz uma quantidade expressiva de C (RICE, 2004). Entretanto, a grande maioria do C retorna para a atmosfera através da respiração do solo (LAL, 2008).

Essa dinâmica de transição do C no sistema solo-atmosfera pode ser alterada de acordo com as práticas de manejo adotadas. Assim, o solo pode atuar como fonte ou dreno de CO_2 atmosférico, interferindo diretamente no efeito estufa. De forma prática, o solo torna-se fonte de CO_2 para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições

de C e torna-se dreno de CO_2 atmosférico quando as adições de C são maiores do que as perdas por oxidação (BRUCE et al., 1999).

2.3 Proteção da MOS

A estabilização da MOS no solo ocorre quando há uma diminuição no potencial de sua perda por oxidação (SOLINS et al., 1996). Os três principais mecanismos de estabilização são: (a) estabilização química, (b) proteção física e (c) estabilização bioquímica (CHRISTENSEN, 1996; STEVENSON, 1994).

A estabilização química da MOS é o resultado de ligações químicas e físico-químicas entre a substâncias orgânicas e inorgânicas do solo, que diminuem as suas taxas de degradação das moléculas orgânicas devido à complexação dos grupos funcionais e mudanças na conformação molecular (GUGGENBERGER & KAISER, 2003).

Uma grande variedade de ligações (ligação iônica, pontes de cátions, ligações van der Vaals, ligações de hidrogênio, etc) podem ser formadas quando moléculas orgânicas em solução entram em contato com a superfície de minerais do solo (CHENU et al., 2006). Entre os minerais, a argila é a mais ativa na formação de complexos organo-minerais devido à sua carga e área superficial específica. Entre os compostos orgânicos, as substâncias húmicas e os polissacarídeos, com os seus grupos funcionais carboxílicos e fenólicos (aromáticos), são os principais envolvidos nas interações organominerais (NEWMAN & HAYES, 1990).

A acumulação de MOS, devida à proteção física, ocorre pela positiva influência de agregação na formação de uma barreira entre ela e os microrganismos, enzimas e seus substratos. A agregação é resultado do rearranjamento de partículas, floculação e cimentação (DUIKER et al. 2003), sendo mediada pelo COT, biota, pontes iônicas, argila e carbonatos (BRONICK & LAL, 2005).

A formação dos agregados é o resultado da interação de diversos fatores incluindo o ambiente, o manejo do solo, o sistema radicular das plantas e as propriedades do solo, como a composição mineral, a textura, os íons trocáveis e metais polivalentes, os processos pedogênicos, a concentração de COT e a atividade microbiana (KAY, 1998).

A matéria orgânica, os óxidos e os sesquióxidos de Fe e Al são agentes cimentantes, tanto das partículas primárias quanto das partículas secundárias do solo. Além destes, os ciclos de umedecimento e secagem atuam como importante fator ambiental que interfere na agregação do solo (CARVALHO, 1991; MALTONI, 1994).

A matéria orgânica atuando como agente cimentante no solo tem sido alvo de inúmeros trabalhos (BAVER, 1968; TISDALL & OADES, 1982; SILVA & MIELNICZUK, 1997; CASTRO FILHO et al., 1998). O aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica em aderir as partículas minerais do solo, formando ligações argilo-metal-húmicas (EDWARDS & BREMNER, 1967). A biota, seus produtos orgânicos e os hidróxidos, os óxidos metálicos amorfos e cristalinos constituem-se em importantes agregantes do solo. A estabilidade de agregados por longo período é freqüentemente relacionada com a presença de C recalcitrante e íons metálicos (BRONICK & LAL, 2005). Os íons metálicos formam pontes entre partículas minerais e organo-minerais.

Os agregados, de acordo com a teoria da hierarquização de agregados descrita por Tisdall & Oades (1982), podem ser classificados em cinco grupos quanto ao tamanho: < 2 µm; de 2 a 20 µm; de 20 a 250 µm e de 250 µm a 2 mm; e > 2 mm. Os menores que 250 µm são denominados microagregados e os maiores constituem os macroagregados, sendo cada agregado formado pela união dos agregados da classe que vêm logo abaixo, seguindo, assim, uma ordem hierárquica. Conforme seus tamanhos, cada classe será unida por diferentes agentes cimentantes.

Microagregados são formados por moléculas orgânicas (MO) unidas por argila (A) e cátions polivalentes (CP) para formar partículas compostas (A–CP–MO), sendo unidas com outras partículas (A–CP–MO) para formar macroagregados $[(A–CP–MO)_x]_y$ (EDWARDS & BREMNER, 1967; TISDALL, 1996). Alternativamente, macroagregados podem formar-se em torno da matéria orgânica particulada (MOP). Quando a MOP é decomposta, exudatos microbianos são liberados, os macroagregados ficam mais estáveis, a relação C:N diminui e microagregados organizam-se internamente (BRONICK & LAL, 2005).

Os agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados do solo podem ser divididos em três grupos, quanto à sua resistência à ação microbiana: os transientes, os temporários e os persistentes. Os primeiros referem-se aos polissacarídeos que são rapidamente decompostos pelos microrganismos (ANGERS & MEHUYS, 1989) e, normalmente, estão associados à estabilidade dos macroagregados do solo. Os agentes temporários são constituídos pelas hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por semanas, meses ou até anos, e estão associados aos macroagregados. As raízes podem apresentar ação mecânica, promovendo pressão nos constituintes do solo, e química por meio das exsudações. Os agentes persistentes são os materiais orgânicos humificados, representados pelos ácidos húmicos e fúlvicos, e estão principalmente associados aos óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade, constituindo a parte mais importante na formação de microagregados do solo (TISDALL & OADES, 1982). A estabilização bioquímica é decorrente da própria composição química das estruturas moleculares dos compostos orgânicos. Ela pode ser atingida durante o processo de decomposição através da condensação e complexação de decomposição dos resíduos, tornando-os mais resistentes após a decomposição (SIX et al., 2002a). Os grupos funcionais do C resistentes à degradação são o C aromático presente na lignina e fenóis, e o C alquil presente numa faixa de moléculas

polimetilenicas em compostos como lipídios, ceras, cutina e suberina (DERENNE & LARGEAU, 2001).

2.4 Influência da calagem no acúmulo de C

2.4.1. *Formação de ponte catiônica*

Resultados contrastantes têm sido encontrados em se tratando dos efeitos da calagem nas propriedades físicas do solo. Alguns estudos reportam aumentos na dispersão de argila, redução na estabilidade de agregados, na infiltração de água e na floculação das partículas (GHANI et al., 1955; ROTH E PAVAN, 1991; CHAN E HEENAN, 1998; ALBUQUERQUE et al., 2003). Por outro lado, outros trabalhos reportaram que a calagem aumentou a capacidade de armazenamento de água, a estabilidade de agregados e a infiltração de água (ROTH et al., 1986; CASTRO & LOGAN, 1991; CHAN & HEENAN, 1999).

Esses conflitos de resultados podem ser explanados em parte devido: (a) ao efeito temporário da calagem na dispersão dos colóides; (b) na ação floculante do $CaCO_3$ e precipitados de polímeros hidroxi-Al, e (c) ao efeito de longo prazo da calagem em estimular o desenvolvimento das culturas, o retorno de C ao solo e a atividade biológica (HAYNES & NAIDU, 1998).

Em solos de carga variável pode ocorrer uma diminuição inicial temporária na estabilidade de agregados logo após a aplicação de calcário (GHANI et al., 1955; ROTH & PAVAN, 1991; CHAN & HEENAN, 1998). Esse decréscimo temporário na agregação foi relacionado com o aumento no pH (ROTH & PAVAN, 1991) e na atividade microbiana nesses solos ácidos (CHAN & HEENAN, 1998). O aumento do pH, em solos de carga variável, leva ao aumento das cargas negativas, aumentando a repulsão e dispersão de colóides. Entretanto, ocorre um efeito reverso devido ao aumento na concentração de cátions

divalentes, como o Ca^{2+}, os quais podem atuar como uma ponte catiônica, anulando o efeito de dispersão (HAYNES & NAIDU, 1998).

Na maioria desses experimentos, os efeitos negativos da calagem sobre a estrutura do solo foi medida nos primeiros 3 meses após a aplicação de calcário (ROTH, 1992). Após um período de 6 meses, esses efeitos podem ser revertidos devido à nova floculação dos colóides. A alta concentração de Ca^{2+} e a elevada força iônica podem resultar na compressão da dupla camada e, com isso, diminuir a força repulsiva entre as partículas do solo, melhorando a agregação do solo (ROTH & PAVAN, 1991; CHAN & HEENAN, 1998).

O aumento na estabilidade estrutural de solos ácidos, que inicialmente continham grande quantidade de Al trocável após a calagem, também pode ser explicado devido ao fato desse Al trocável ser precipitado como hidróxido-Al, carregado positivamente (HAYNES, 1984). Esse hidróxido-Al é fortemente adsorvido na superfície de argilas, diminuindo seu potencial negativo, se tornando um agente floculante de colóides. O hidróxido-Al, em quantidades suficientes, também pode atuar como agente cimentante de partículas, formando agregados mais estáveis (HAYNES & NAIDU, 1998).

O cálcio, oriundo da calagem, pode ser também um elemento crucial para a estabilização da MOS e de agregados, através do seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica através de ponte catiônica (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005). Devido ao cálcio exercer influência na complexação organo-mineral, a sua estabilização é observada principalmente ao nível de microagregados (SIX et al., 2004). Segundo Baldock et al. (1994), o processo de formação de pontes de cálcio, é o fator dominante do efeito positivo de longo prazo da adição de cálcio sobre a estabilidade estrutural do solo.

2.4.2. *Contribuição do sistema radicular devido à ação da calagem*

A calagem pode promover grande aumento no desenvolvimento de raízes e biomassa aérea e, com isso, aumentar o retorno de C ao solo na forma de resíduos (HAYNES, 1984).

O aumento do sistema radicular das culturas pode promover aumento nos produtos orgânicos exudados por elas. Através dessa deposição, a biomassa microbiana do solo desenvolve-se em maior quantidade na rizosfera. Essa biomassa é capaz de produzir polissacarídeos que são agentes cimentantes de extrema importância na agregação do solo, principalmente em se tratando de macroagregados (TISDALL & OADES, 1982). Adicionalmente, as próprias raízes, pêlos radiculares e micorrizas arbusculares associadas às raízes formam um arranjamento tridimensional, o qual ajuda a segurar as partículas do solo juntas de forma a aumentar a agregação (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

3. COMPARTIMENTOS DA MOS E TAXA DE SEQUESTRO DE C AFETADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

3.1 RESUMO

A calagem é a prática mais utilizada para neutralizar a acidez do solo, porém promove também modificações químicas capazes de alterar os compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS). O objetivo desse trabalho foi avaliar as modificações no conteúdo e estoque de carbono (C), juntamente com compartimentos da MOS, influenciados pela calagem superficial em um experimento de longa duração sob SPD. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho textura média no município de Ponta Grossa, PR. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas consistiram da aplicação de calcário dolomítico na superfície do solo na dose de 0 ou 6 Mg ha^{-1} em 1993, e dose de 0 ou 3 Mg ha^{-1} em 2000 nas parcelas previamente com e sem calcário, compondo os tratamentos: 0+0 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000) (controle); 6+0 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000); 0+3 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000) e 6+3 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000). As subparcelas foram constituídas pelas profundidades de coleta de solo, sendo realizadas em 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. As coletas de solo foram realizadas em setembro de 2008 e analisados os conteúdos de carbono orgânico total (COT) na amostra total e nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (COAM) da matéria orgânica do solo (MOS), com o subseqüente cálculo de estoque. A calagem proporcionou acúmulo de COT, principalmente na camada 0-2,5 cm. Os estoques de COT na camada 0-20 cm foram 49,9, 52,9, 52,7 e 57,5 Mg ha^{-1} para os tratamentos controle, 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente, resultando em um ganho relativo em relação ao controle de 3,1, 2,8 e 7,7 Mg ha^{-1} ou de 6,2, 5,6 e 15,4 % para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 respectivamente. Os estoques nas frações da MOS também foram modificados. Para a camada de 0-20 cm os ganhos de COP, em relação ao controle, foram de 25,1, 13,3 e 32,9 % e de COAM foram de 3,6, 4,6 e 13,0 % para tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente. O aumento no estoque de COP foi estreitamente relacionado (R^2=0,98; P=0,011) com a adição acumulada de C, a qual foi mais elevada nas parcelas que receberam calagem. Encontrou-se correlação positiva entre COT e carbono em água quente (CAQ), polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL). Correlações também demonstraram que o COT teve relação mais estreita com o COP do que com o COAM, sugerindo maior influência da fração lábil no aumento de COT com a calagem. Isso foi confirmado pela maior correlação entre Ca, pH e CTCe com COP em relação ao COAM.

Palavras-chave: Agricultura conservacionista, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, polissacarídeos totais e lábeis, carbono em água quente.

3.2 SUMMARY

Liming is the most often practice used to neutralize soil acidity, but also promotes chemical changes capable of altering the compartments of soil organic matter (SOM). The objective of this study was to assess the changes in carbon (C) content and stock in SOM compartments influenced by liming in a long-term experiment under NT. The experiment was conducted in an Oxisol, located in Ponta Grossa, PR. The experimental design was a randomized complete block, arranged as split plot with three replications. The main plot consisted of dolomite lime applied on the soil surface at a 0 or 6 Mg ha^{-1} in 1993, and 0 or 3 Mg ha^{-1} in 2000 in plots previously with and without lime, and the treatments was assigned as: control, 6+0, 0+3 and 6+3 Mg ha^{-1}. The subplots were represented by sampling depth and consist of 0-2.5, 2.5-5, 5-10 and 10-20 cm layer. The soil samples were taken in September 2008 and the total organic carbon (TOC) was analyzed in the whole sample, in the aggregates and in the particulate organic carbon (POC) and in the fraction associated with minerals carbon (OCAM). The liming increase C accumulation mainly in the 0-2.5 cm layer. Values of TOC in the 0-20 cm depth were 49.9, 52.9, 52.7 and 57.5 Mg ha^{-1} for the treatments control, 6+0, 0+3, 6+3, respectively and resulting in a relative gain compared to the control of 3.1, 2.8 and 7.7 Mg ha^{-1} or 6.2, 5.6 and 15.4% for the treatments 6+0, 0+3 and 6+3, respectively. The increase in COP stock was closely correlated (R^2 = 0.98, P = 0.011) with the accumulated C addition, which was higher in plots that were limed. Also was founded a positive correlation between TOC and carbon extracted in hot water (CWC), total polysaccharides (TP) and labile (PL). Correlations also showed that the TOC had closer relationship with POC than with COAM, suggesting a greater influence on the labile fraction of TOC increase with liming. This was ratified by the highest correlation between Ca, pH and ECEC with COP compared to COAM.

Key-words: Conservation agriculture, particulate organic carbon, organic carbon associated with minerals, total and labile polysaccharides, carbon in hot water.

3.3 INTRODUÇÃO

Solos de vastas regiões no mundo são ácidos, com pH inferior a 5,5 (VON UEXKÜLL & MUTERT 1995), os quais restringem a produção de grãos e forragens devido principalmente às elevadas concentrações de Al^{3+} na solução (SUMNER et al.,1986; TANG et al., 2003). Na grande maioria das regiões tropicais e subtropicais, os solos são ainda caracterizados pela baixa saturação por bases trocáveis e mineralogia com predominância de argila 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, de modo a originar cargas variáveis.

No Brasil, os solos são em sua maioria ácidos, com níveis de Al e Mn tóxicos, baixa saturação por bases e baixo conteúdo de P (OLMOS & CAMARGO, 1976). Segundo Quaggio (2000), aproximadamente 70% do território brasileiro é composto por solos ácidos, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40%.

A calagem é a prática mais utilizada para corrigir a acidez do solo para o aumento da produção de culturas. No entanto, em solos de carga variável, a calagem pode levar à dispersão de partículas coloidais decorrente do aumento de cargas negativas, seguido de repulsão das argilas (CASTRO & LOGAN, 1991; ROTH & PAVAN, 1991; HATI et al., 2008). Com o passar do tempo, esse efeito dispersivo pode ser amenizado e até mesmo ser revertido em melhoria nas condições físicas do solo (CASTRO & LOGAN, 1991; ROTH et al., 1986), com possível proteção do carbono em agregados.

O carbono orgânico total (COT) do solo tem papel muito importante na melhoria das condições químicas (FONTANA et al., 2006; SÁ et al., 2009), físicas (TISDALL & OADES, 1982; CASTRO FILHO et al.,1998; MADARI et al., 2005) e biológicas do solo (SPARLING et al.,1998), assim como desempenha também importante função ambiental. Devido o COT ter grande relevância no compartimento global de carbono (KERN et al., 1993; STEVENSON, 1994), sua elevação ou o aumento de seu estoque, faz com que o solo se torne

um dreno de CO_2, o que diminui seu impacto negativo na atmosfera. Portanto, práticas que promovam o seqüestro de C no solo são importantíssimas do ponto de vista ambiental.

Ao elevar o pH do solo, a calagem eleva também a atividade da biomassa microbiana (EKENLER & TABATABAI, 2003) que, por sua vez, pode promover a decomposição mais acelerada da MOS, diminuindo o estoque de C no solo (CHAN & HEENAN, 1999). Entretanto, esse efeito, igualmente à dispersão de argila, pode ser de ocorrência momentânea e, com o passar do tempo, ser revertido de forma a aumentar o estoque de C no solo (RIDLEY et al., 1990; HATI et al., 2008).

Estudos relacionados às alterações de compartimentos da MOS afetados pela calagem, principalmente em experimentos de longa duração, são escassos na literatura. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as alterações nos compartimentos da MOS e taxas de seqüestro de C, decorrentes da calagem superficial em um experimento de longa duração em um Latossolo Vermelho sob SPD.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização e caracterização da área experimental

O presente estudo foi realizado na Fazenda Estância dos Pinheiros em Ponta Grossa, PR, cujas coordenadas de referência são: 25°10’ S, 50°05’ W (Figura 2).

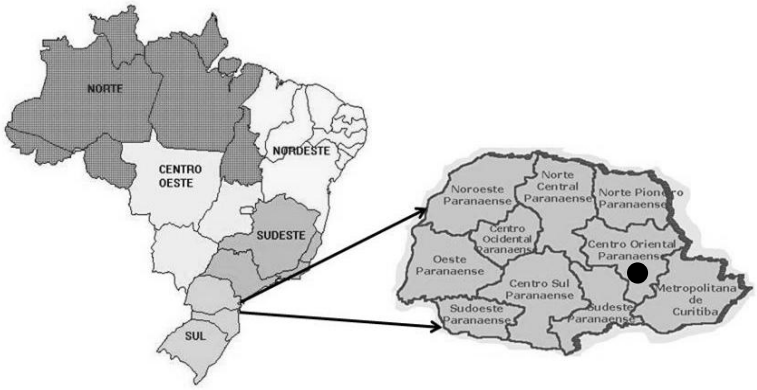

Figura 2. Localização geográfica do município de Ponta Grossa (esfera em preto), dentro do contexto estadual e nacional.

O clima regional é classificado segundo Köppen como Cfb, subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrência de geadas severas e freqüentes no inverno, não apresentando estação seca definida. A temperatura média anual é de 17,8º C e a precipitação pluvial média anual é de 1553 mm (Figura 3) (IAPAR, 2010). O solo usado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura média (EMBRAPA, 2006), contendo 295, 240 e 465 g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente, conforme método de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997). Considerando a fração argila, o solo tinha 265,8 g kg^{-1} de caulinita, 26,8 g kg^{-1} de goetita e 2,4 g kg^{-1} de hematita. No momento de instalação do experimento, a área vinha sendo cultivada no SPD durante 15 anos.

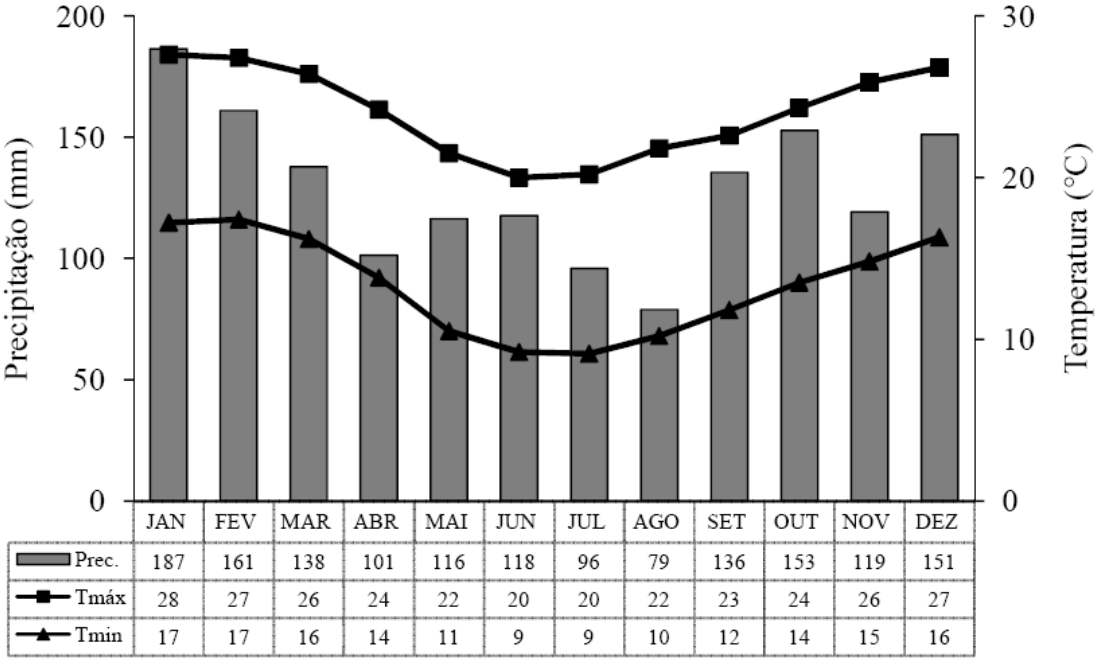

Figura 3. Dados históricos climáticos de Ponta Grossa no período de 1954-2001; distribuição mensal da precipitação pluvial (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■Tmáx) e temperatura mínima (▲Tmin). Fonte: IAPAR, 2010.

3.4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas, cujas dimensões foram de 4,0 x 6,3 m, consistiram da aplicação de calcário dolomítico na superfície do solo na dose de 0 ou 6 Mg ha^{-1} em 1993. No ano 2000 realizou-se a reaplicação de calcário na dose de 0 ou 3 Mg ha^{-1} nas parcelas previamente com e sem calcário, compondo os tratamentos: 0+0 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000); 6+0 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000); 0+3 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000) e 6+3 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000). A dose de 6 Mg ha^{-1} em 1993 teve como objetivo elevar a saturação de bases da camada de 0-20 cm do solo a aproximadamente 90%. A dose de 3 Mg ha^{-1} em 2000 foi calculada visando elevar a saturação por bases a 65%, considerando a análise química de amostra retirada da camada de 0-20 cm no tratamento que havia recebido 6 Mg ha^{-1} de calcário em 1993. As subparcelas

foram constituídas pelas profundidades de coleta de solo, sendo realizadas em 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. O calcário dolomítico utilizado em 1993 continha 176 g kg^{-1} de Ca, 136 g kg^{-1} de Mg, e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 84%, e aquele usado em 2000 continha 196 g kg^{-1} de Ca, 130 g kg^{-1} de Mg, e 90% de PRNT. Mais detalhes do experimento podem ser encontrados em Caires et al (2008b).

3.4.3 Entrada anual de C via resíduos

A entrada anual de C no sistema via resíduos culturais (parte aérea e raízes), foi estimada através da produção acumulada de grãos de cada tratamento durante os 15 anos de experimento. A estimativa do aporte de C em cada tratamento foi baseada no índice de colheita (IC), na relação raiz/parte aérea e na quantidade de C de cada cultura (Sá et al., 2001).

A tabela 1 sumariza os aportes de matéria seca e C no período de estudo e foram utilizadas como base para o entendimento da variação no estoque de C. Devido ao fato de não ter sido avaliada a produção de ervilhaca/aveia-preta (1994) e de aveia-preta (1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006 e 2007), considerou-se a produção, no tratamento testemunha, de 3,5 e 3,0 Mg ha^{-1}, respectivamente para ervilhaca/aveia-preta e aveia-preta. Com os ganhos relativos das produções acumuladas de trigo, triticale e aveia-preta (culturas semelhantes) das amostras que receberam calagem em relação à testemunha, estimou-se as produções de aveia-preta/ervilhaca e aveia-preta para cada tratamento. Para a falta de dados de produção de soja (2003/04), considerou-se a média de produção da cultura dos outros anos de experimento. Para o pousio (1995), considerou-se a produção de 1 Mg ha^{-1} para todos os tratamentos.

Tabela 1. Aportes de matéria seca e carbono (C) via resíduos culturais referente a 15 anos do experimento.

Ano	Sequência de cultivo[§]		Dose de calcário em superfície, Mg ha^{-1}							
			0+0[†]		6+0		0+3		6+3	
	Verão	Inverno	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual	Resíduo anual	C anual
			----------Mg ha^{-1}----------							
1994	SJ	ER+AP	7.3	3.0	8.7	3.6	7.3	3.0	8.7	3.6
1995	ML	P	14.1	6.4	17.1	7.7	14.1	6.4	17.1	7.7
1996	SJ	TR	5.4	2.2	5.9	2.4	5.4	2.2	5.9	2.4
1997	SJ	TT	4.9	2.0	5.2	2.2	4.9	2.0	5.2	2.2
1998	SJ	AP	6.0	2.5	7.2	3.0	6.0	2.5	7.2	3.0
1999	SJ	AP	6.7	2.8	8.1	3.4	6.7	2.8	8.1	3.4
2000	SJ	AP	7.9	3.2	8.7	3.6	7.7	3.2	8.9	3.7
2001	ML	AP	16.8	7.5	20.6	9.2	18.5	8.3	21.2	9.5
2002	SJ	AP	7.7	3.2	10.0	4.2	9.9	4.1	10.8	4.5
2003	SJ	TR	5.8	2.4	8.7	3.7	8.0	3.4	10.7	4.6
2004	SJ	AP	7.2	3.0	9.4	3.9	9.3	3.9	10.6	4.4
2005	ML	AP	13.2	5.9	19.4	8.7	19.1	8.6	21.1	9.5
2006	SJ	AP	7.6	3.1	10.5	4.3	9.6	4.0	11.4	4.7
2007	SJ	AP	6.9	2.9	9.1	3.8	9.2	3.9	10.7	4.5
2008	SJ	AP	7.1	2.4	9.4	2.5	9.5	2.6	10.9	3.0
TOTAL			**124.5**	**52.5**	**158.0**	**66.1**	**145.3**	**60.7**	**168.5**	**70.5**

[§]SJ=soja; ER+AP=consórcio de ervilhaca e aveia preta; ML=milho; P=pousio; TR=trigo; TT=triticale; AP=aveia preta. [†]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000.

3.4.4 Amostragem do solo

Todas as amostras do solo foram coletadas nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20 cm de profundidade, em outubro de 2008, logo após o manejo da cultura de aveia-preta.

Para a determinação da densidade do solo (DS) foram retiradas amostras indeformadas utilizando anéis de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm (BLAKE & HARTGE, 1986) com o auxílio de um amostrador para a introdução e retirada dos anéis. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm de profundidade, os anéis foram retirados do meio de cada profundidade. Nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm de profundidade, os anéis utilizados tinham 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura. Os resultados da DS (Tabela 2) foram utilizados para o cálculo do estoque de C. Devido o cálculo de estoque ser para o mesmo solo, sem alteração na

granulometria e com o mesmo manejo, não foi corrigido para massa equivalente e optou-se por apresentar a quantificação em massa por volume (Mg ha^{-1}) para camada amostrada. Também, devido a densidade não variar entre os tratamentos, optou-se por utilizar as densidades diferenciadas entre as camadas amostradas para o cálculo de estoque.

As amostras integrais para a análise granulométrica, determinação de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), carbono oxidável (COX), polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL), carbono extraído em água quente (CAQ), carbono recalcitrante (CR), fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FGMOS) e análises químicas, foram realizadas através de coleta indeformada (EMBRAPA, 1997), realizadas com auxílio de uma espátula, nas profundidades já mencionadas.

Tabela 2. Média e desvio padrão da densidade do solo determinada em quatro camadas de solo em todas as unidades experimentais.

Camada	Média[§]	Desvio padrão
cm	----------Mg m^{-3}----------	
0-2,5	1,48	0,08
2,5-5	1,47	0,07
5-10	1,43	0,06
10-20	1,37	0,08

[§] Representa a média de quatro tratamentos, com três repetições e três anéis por repetição, totalizando 36 pontos por camada amostrada.

3.4.5 Conteúdo de COT e NT

O conteúdo de COT e NT foram determinados pelo método da combustão seca, utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

3.4.6 Estoque de COT

Para o cálculo do estoque de COT, em cada profundidade, foi utilizada a expressão: EstC = (COT x Ds x *e*)/10, em que: EstC é o estoque de carbono orgânico total em

determinada profundidade (Mg ha^{-1}); COT o conteúdo de carbono orgânico total (g dm^{-3}); Ds a densidade do solo em cada profundidade (Mg m^{-3}); *e* a espessura da camada considerada (cm).

3.4.7 Determinação do carbono orgânico oxidável (COX)

A determinação de COX foi realizada pela oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulação com sulfato ferroso amoniacal, segundo método modificado de Walkley & Black (1934) descrito por Nelson & Sommers (1996).

3.4.8 Determinação de polissacarídeos totais (PT) e lábeis (PL)

As determinações de PT e PL foram feitas de acordo com a metodologia descrita por Lowe (1993). O método baseou-se na liberação de monômeros de sacarídeos através da hidrólise com ácido sulfúrico seguida por determinação colorimétrica, usando-se o fenol e o ácido sulfúrico como reagentes para desenvolvimento da coloração.

Para a determinação dos PT, 0,5 g de solo foi transferido para erlenmeyer de 125 mL, ao qual foram adicionados 4 mL de H_2SO_4 12 mol L^{-1}, de forma a umedecer toda a amostra. Depois de 2 h de repouso em temperatura ambiente, foram adicionados 92 mL de água destilada para diluição da solução de H_2SO_4 a 0,5 mol L^{-1}. Em seguida, os frascos foram colocados em banho-maria por 2,5 horas, produzindo temperatura de aproximadamente 95°C. Após o resfriamento dos frascos, o hidrolisado foi filtrado e o volume foi completado para 125 mL com H_2O deionizada. Desse conteúdo, foi pipetado 1 mL e transferido para um tubo de ensaio, seguido da adição de 1 mL de solução de fenol a 5% (massa/volume) e de 5 mL de H_2SO_4 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 de

absorbância em polissacarídeos, em g kg^{-1}, foi realizada a partir de um curva padrão construída com valores de absorbância e concentrações iniciais conhecidas de glicose.

Para determinação do conteúdo de PL, foram seguidos os mesmos procedimentos utilizados para determinação de polissacarídeos totais, exceto o pré-tratamento das amostras com H_2SO_4 12 mol L^{-1} com posterior diluição, o qual foi substituído pela adição direta de H_2SO_4 0,5 mol L^{-1} ao erlenmeyer contendo a alíquota 0,5 g de solo.

3.4.9 Determinação do carbono extraído com água quente (CAQ)

O CAQ foi determinado em amostras de solo conforme descrito por Ghani et al. (2003). Para isso, 3 g de cada amostra foram pesadas em tubos de centrifuga de 15 mL e adicionado 9 mL de água deionizada (relação solo:água 1:3). Os tubos foram agitados manualmente por 10 s para suspender o solo na água e colocados em estufa a 80ºC por 16h. Depois do período de incubação, os tubos foram agitados manualmente para assegurar que o C liberado foi totalmente suspenso e então centrifugados por 30 min a 4000 rpm. Da solução sobrenadante obtida, coletou-se 6 mL para determinação do C pelo método de combustão úmida, modificado de Walkley & Black (1934) e descrito por Nelson & Sommers (1996).

3.4.10 Determinação do carbono recalcitrante (CR)

Para a determinação do CR utilizou-se um pré-tratamento térmico nas amostras (BRUUN et al., 2008), promovendo a oxidação dos compostos mais lábeis. Para tanto, 1 g de amostra foi colocada em mufla às temperaturas de 250, 300, 350 e 400 ºC por um período de 1 h. Essas temperaturas crescentes foram utilizadas para obter a equivalência com o método padrão que utiliza a oxidação com H_2O_2 para a recuperação da fração estável (HELFRICH et al., 2007). O objetivo da equivalência entre os métodos de extração do CR foi devido ao fato de que a oxidação com o H_2O_2 é muito morosa e apresenta baixa repetibilidade nos

resultados. A equivalência entre os métodos foi obtida através do uso da regressão linear para encontrar a temperatura de pré-aquecimento (330 ºC) equivalente à oxidação com o H_2O_2. Após o pré-tratamento, o conteúdo de C das amostras foi determinado por combustão seca utilizando um determinador elementar de C e N (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA).

3.4.11 Procedimento para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica (FGMOS)

O FGMOS foi realizado de acordo com o método descrito por Feller (1994) e adaptado por Sá et al. (2001). O procedimento foi realizado em amostras secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e tamizadas em peneira de 2 mm. Em um frasco plástico de 1 L pesou-se 40 g da amostra e adicionou-se 100 mL de H_2O e 0,75 g de hexametafosfato e três bolas de vidro. Após ligeira agitação manual, os frascos foram mantidos em geladeira durante 16 h. Os frascos foram agitados durante 4 h em um agitador horizontal na freqüência de 100 rpm. O solo em suspensão foi passado em peneira de 53 μm, e o material retido foi seco à temperatura de 60 ºC, obtendo-se a fração 53-2000 μm. O material que passou pela peneira foi transferido para uma proveta de 1 L e adicionado 1 g de $Al_2(SO_4)_3(14\text{-}18)H_2O$ (agente floculante). Após a completa sedimentação do material, o sobrenadante foi sifonado com bomba à vácuo e o solo foi seco para a obtenção da fração menor que 53 μm.

3.4.12 Atributos de fertilidade

O pH do solo foi determinado em uma suspensão de $CaCl_2$ a 0,01 mol L^{-1} (1:2,5 solo/solução, v/v). Al^{3+} trocável, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com KCl neutro a 1 mol L^{-1} e K^+ com Mehlich-1, em uma relação solo/solução 1:10 (v/v). Al^{3+} (acidez trocável-KCl) foi determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1}; Ca^{2+} e Mg^{2+}, por titulação com EDTA

0,025 mol L^{-1}; e K^+ por fotometria de chama. A CTCe foi calculada somando-se as bases trocáveis (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+) mais Al^{3+} (Tabela 3). Todos os atributos químicos do solo foram analisados de acordo com método utilizado pelo Instituto Agronômico do Paraná (PAVAN et al., 1992).

Tabela 3. Caracterização dos atributos de fertilidade do solo no ano de 2008.

Prof.	Dose de calcário em superfície	pH	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTCe
cm	Mg ha^{-1}	$CaCl_2$	----------	----------	$cmol_c$ dm^{-3}	----------	----------	----------
0-2,5	0+0†	4,2	9,7	0,9	2,1	1,1	0,42	4,6
	6+0	5,0	6,5	0,2	4,3	5,3	0,46	10,1
	0+3	4,6	7,0	0,5	3,5	4,1	0,62	8,7
	6+3	5,2	5,6	0,0	5,0	4,7	0,95	10,7
2,5-5	0+0	3,9	11,2	1,1	1,2	0,9	0,28	3,6
	6+0	4,5	8,0	0,5	3,7	3,4	0,28	7,9
	0+3	4,4	8,2	0,8	2,8	3,7	0,30	7,6
	6+3	4,9	6,6	0,2	4,6	3,7	0,17	8,7
5-10	0+0	3,9	11,4	1,5	1,0	0,8	0,20	3,5
	6+0	4,3	8,8	0,9	2,6	4,4	0,22	8,1
	0+3	4,3	9,4	0,8	1,9	3,9	0,25	6,9
	6+3	4,8	6,4	0,2	3,5	3,7	0,15	7,6
10-20	0+0	4,0	10,5	1,4	0,5	1,7	0,16	3,8
	6+0	4,3	8,2	0,8	1,9	3,8	0,24	6,8
	0+3	4,1	9,3	1,0	1,2	3,0	0,44	5,7
	6+3	4,5	7,0	0,5	2,4	3,5	0,07	6,4

†O número antes do sinal de adição refere-se a dose de calcário aplicada no ano de 1993 e o número depois do sinal de adição representa a dose reaplicada no ano de 2000.

3.4.13. Análise estatística

Os resultados de conteúdo e estoque de COT, estoque de COT nas frações granulométricas e compartimentos da MOS foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade (P=0,05), através do programa SISVAR – versão 5.1 (FERREIRA, 1999). Análise de regressão linear foi usada para avaliar a relação entre entrada anual de C via resíduos com o conteúdo de COP e conteúdo de COT com NT. O nível de significância do coeficiente de

determinação (R^2) foi encontrada através do programa JMP IN versão 3.2.1 (SALL et al., 2005). O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado na avaliação do grau de afinidade das variáveis, através do programa IBM SPSS Statistics 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). O nível de significância estatístico para os coeficientes de correlação foi descrito como $P < 0,05$ e $P < 0,01$.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. *Alterações no conteúdo e estoque de carbono orgânico total devido à calagem superficial*

Em todas as profundidades analisadas (Tabela 4), o conteúdo de COT foi significativamente superior no tratamento 6+3 em relação ao tratamento sem calcário (0+0). A aplicação de calcário em 1993 com posterior reaplicação em 2000 comparada ao tratamento sem calcário (0+0), resultou em aumento no conteúdo de COT de 6,5, 4,6, 2,0 e 1,6 g kg^{-1} nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente.

Tabela 4. Conteúdo e estoque de carbono orgânico total (COT) afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Profundidade	Dose de calcário em superfície, Mg ha^{-1}			
	0+0[†]	6+0	0+3	6+3
cm	---------- Conteúdo de COT, g kg^{-1} ----------			
0-2,5	22,7 Ac[§]	25,8 Ab	25,1 Ab	29,3 Aa
2,5-5	21,1 Bb	21,1 Bb	21,7 Bb	25,7 Ba
5-10	17,8 Cb	19,5 Ca	18,4 Cab	19,8 Ca
10-20	15,4 Db	15,8 Dab	16,3 Dab	16,9 Da
	---------- Estoque de COT, Mg ha^{-1} ----------			
0-2,5	8,40 b	9,55 ab	9,26 b	10,82 a
2,5-5	7,72 b	7,74 b	7,95 b	9,40 a
5-10	12,72 b	13,98 ab	13,19 ab	14,15 a
10-20	21,02 b	21,66 b	22,25 ab	23,16 a

[†]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. [§]Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos e maiúsculas nas colunas, comparando profundidade, não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade

Na camada de 0-2,5 cm, a mais afetada pelos resíduos deixados sobre a superfície no SPD, o conteúdo de COT também foi mais alterado (Tabela 4). O menor conteúdo foi encontrado no tratamento sem calcário, seguida por conteúdos iguais estatisticamente nos tratamentos 6+0 e 0+3. Nessa mesma seqüência de tratamentos, houve um acréscimo no conteúdo de COT na ordem de 14, 10 e 29 % em relação tratamento sem calcário (0+0). Entre as camadas amostradas, houve um decréscimo de COT com as coletas nas camadas mais profundas, sugerindo uma extratificação de COT ao longo do perfil do solo. Esse fato é

comum no SPD, devido ao aporte e a manutenção dos resíduos culturais na superfície, os quais são isolados do resto do perfil, aumentando sua resilência (FRANZLUEBBERS, 2002a; SÁ & LAL, 2009).

O ganho em conteúdo de COT nos tratamentos com calagem resultou em aumento significativo no estoque de C. Em todas as camadas amostradas, o tratamento com a maior dose de calcário (6+3) proporcionou o maior estoque de C, em contrapartida, no tratamento sem calcário (testemunha 0+0) constatou-se o menor estoque de COT (Tabela 4). Proporcionalmente os maiores ganhos no estoque de COT ocorreram na camada 0-2,5 cm, com aumentos de 14, 10 e 29 % para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 respectivamente, em relação ao tratamento sem calcário (testemunha 0+0). Nas demais camadas esses tratamentos com calagem também se sobressaíram em relação ao tratamento sem calcário (controle).

O estoque de COT na camada 0-20 cm foi 49,9, 52,9, 52,7 e 57,5 Mg ha^{-1} para os tratamentos 0+0, 6+0, 0+3 e 6+3 respectivamente. Comparado ao tratamento sem calcário (testemunha 0+0) observou-se que o ganho relativo foi de 3,1, 2,8 e 7,7 Mg ha^{-1} ou de 6,2, 5,6 e 15,4 % para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 respectivamente. Em um experimento de longa duração (22 anos) na região dos Campos Gerais do Paraná, comparando sistemas de manejo do solo, o estoque de C sob SPD até a profundidade de 0-40 cm foi superior ao do solo sob PC em 19,1 Mg ha^{-1}, com uma taxa anual de 0,87 Mg ha^{-1} (SÁ et al., 2001). Nesse trabalho, a taxa anual de seqüestro de COT em relação à testemunha foi de 0,20, 0,19 e 0,51 Mg ha^{-1} de C para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 respectivamente. Entretanto, as taxas de seqüestro obtidas no presente estudo foram em uma situação de longo período sob plantio direto, ou seja, a área onde o experimento foi implantado em 1993 já estava sendo cultivada nesse sistema há quinze anos e assim permaneceu até a coleta de solo em 2008. Dessa forma, o aumento que ocorreu no estoque de COT é relevante e pode ser atribuído principalmente à melhoria na qualidade do solo causada pela ação dos tratamentos com calcário.

3.5.2. *Alterações nos compartimentos da MOS provocadas pela calagem superficial*

O aumento no conteúdo e no estoque de COT pela calagem superficial está relacionado com as alterações nos compartimentos da MOS. O carbono orgânico particulado (COP) é sensível à quantidade, a qualidade e a freqüência de adição dos resíduos culturais ao solo porque atua como agente cimentante de microagregados para a formação de macroagregados (Six et al., 1999; 2002b). Outrossim, a proteção do COT intra-agregado vai proporcionando a migração para o carbono associado aos minerais (COAM), constituindo a relação do C com a fração silte+argila. Esse é um processo lento e gradual que cria a ponte entre as frações mais lábeis e a sua passagem para as frações mais estáveis e complexadas ao nível dos colóides minerais. Nesse experimento, a calagem afetou os dois compartimentos, porém o maior impacto foi no COP (Tabela 5). Isso indica que o tempo do experimento ainda está contribuindo em maior expressão com o compartimento lábil cuja meia vida é mais curta.

No SPD, a camada de 0-2,5 cm apresenta expressiva influência dos resíduos culturais depositados na superfície e refletiu no aumento do estoque de COP em 35,5, 27,0 e 50,4 % nos tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente, em relação ao controle. Em contraste, o incremento no COAM, na mesma camada e seqüência de tratamentos, foi inferior, embora tenha sido significativo comparado à testemunha sem calcário, com incrementos de 7,7, 5,7 e 22,9 %, respectivamente. Contabilizando o ganho ponderado para a camada de 0-20 cm, observou-se incremento no COP de 25,1, 13,3 e 32,9 %, enquanto para o COAM o incremento foi de 3,6, 4,6 e 13,0 % para tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente em relação ao tratamento sem calcário.

Apesar de proporcionalmente os ganhos terem sido maiores no COP, em valores absolutos o COAM teve um aumento mais expressivo, visto que na camada de 0-20 cm, nesse compartimento, o estoque aumentou em 1,58, 2,01 e 5,72 Mg ha^{-1}, e no COP houve um

aumento de 1,50, 0,79 e 1,96 Mg ha^{-1} para tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente em relação ao tratamento sem calcário (0+0).

Tabela 5. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) afetadas pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Prof.	FGMOS	Dose de calcário em superfície, Mg ha^{-1}			
		0+0[†]	6+0	0+3	6+3
cm		---------- Mg ha^{-1} ----------			
0-2,5	COP[‡]	1,79 b[§]	2,42 a	2,27 a	2,69 a
	COAM[‡‡]	6,62 a	7,13 a	7,00 a	8,13 a
2,5-5	COP	0,99 b	1,08 b	1,14 ab	1,57 a
	COAM	6,73 a	6,67 a	6,81 a	7,83 a
5-10	COP	1,22 b	1,89 a	1,36 b	1,45 ab
	COAM	11,49 a	12,09 a	11,83 a	12,70 a
10-20	COP	1,96 a	2,07 a	1,98 a	2,21 a
	COAM	19,06 b	19,59 ab	20,27 ab	20,95 a
∑ 0-20	**COP**	**5,96 c**	**7,45 ab**	**6,75 bc**	**7,91 a**
	COAM	**43,90 b**	**45,47 ab**	**45,91 ab**	**49,61 a**

[†]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. [‡] carbono orgânico particulado; [‡‡] carbono orgânico associado aos minerais. [§]Letras minúsculas iguais nas linhas, comparando tratamentos não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade.

Estudos demonstram que a alteração no estoque de COP está relacionada com a dinâmica dos aportes de resíduos ao sistema (VIEIRA et al., 2007; SÁ & LAL, 2009). No presente estudo, constatou-se estreita relação positiva (R^2 = 0,98; P = 0,011) entre a adição acumulada de C pelos resíduos culturais nos 15 anos de experimento e o estoque de COP na camada de 0-20 cm (Figura 4), corroborando com o argumento que a calagem, ao melhorar o ambiente edáfico (CAIRES et al., 2008b), proporcionou maior entrada de C, devido ao aumento na produção de grãos e de resíduos culturais, revertendo em aumento do estoque de COP.

A melhoria química do solo aliada ao seqüestro de C foi reportada por Ridley et al. (1990), em solos ácidos da Austrália, os quais reportaram que a aplicação de P e calcário aumentou o estoque de C no solo, na camada 0-10 cm em 11,8 Mg em um período de 68 anos,

cuja taxa média de sequestro foi de 0,17 Mg C ha^{-1} ano^{-1}. Corroborando com essa constatação, Hati et al. (2008), em um experimento de longa duração na Índia, observaram que a calagem juntamente com a aplicação de fertilizantes (NPK) promoveu aumento significativo no COT após 29 anos, comparado ao tratamento que recebeu somente NPK.

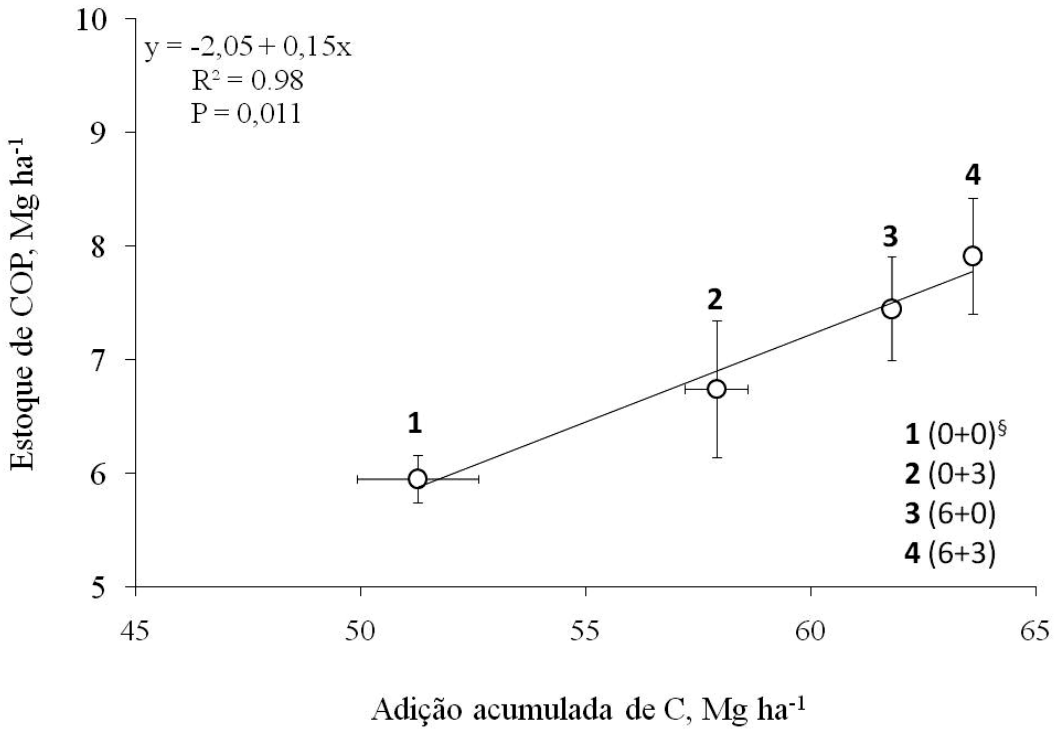

Figura 4. Relação entre estoque de carbono orgânico particulado (COP) na camada 0-20 cm e a adição acumulada de carbono (C) durante 15 anos, afetados por doses de calcário na superfície em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. §Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário, em Mg ha^{-1}, aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. As barras verticais e horizontais indicam o erro padrão das médias do estoque de COP e da entrada acumulada de C, respectivamente.

Por outro lado, as alterações no COAM estão relacionadas às ligações da MOS com os colóides do solo. A elevada concentração de Ca^{2+} e alta força iônica promovidas com a calagem podem resultar na diminuição da espessura da dupla camada e, com isso, diminuir a força repulsiva entre as partículas do solo, melhorando sua agregação (ROTH & PAVAN, 1991; CHAN & HEENAN, 1998). Outro mecanismo pode ter sido a formação de complexos com a argila e a matéria orgânica através de ponte catiônica. Neste caso, o Ca sendo um

cátion divalente pode ter atuado como um ligante entre a MOS e a argila através da união das cargas negativas encontradas na superfície desses dois colóides (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005).

Dessa forma, no presente estudo, a calagem também modificou, ao longo dos 15 anos de experimento, outros compartimentos da MOS (Tabela 6). O COX representou cerca de 90% do conteúdo de COT e variou conforme o comportamento do COT com valores superiores nos tratamentos com calagem e diminuindo com o aumento da profundidade. Na camada de 0-2,5 cm, a amplitude no conteúdo de COX entre os tratamentos com calcário foi elevada em relação à testemunha sem calcário (0+0), com incremento de 1,7, 4,7 e 7,7 g kg^{-1} e representou 8,3, 23,3 e 38,3 %, respectivamente, para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3. Esse ganho no conteúdo de COX com a calagem diminuiu com a profundidade até 1,0 g kg^{-1} na camada de 10-20 cm para os tratamentos com calagem em relação à testemunha. Na camada de 0-20 cm o ganho médio em COX nos tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 foi de 1,5, 1,8 e 4,3 g kg^{-1} ou 8,8, 10,8 e 25,5 %.

A aplicação do calcário superficial na maior dose (tratamento 6+3) proporcionou o maior conteúdo de PT, contrastando com o tratamento 0+0 que resultou no menor conteúdo de PT (Tabela 6). O aumento no PT nos tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 em relação ao tratamento 0+0 foi de 6,6, 7,2 e 13,1 %. O conteúdo de PT representou cerca de 70% do COT, indicando que a quantidade de compostos orgânicos oriundos da combinação de culturas adotada no experimento era predominantemente constituída de carboidratos (CANALLI, 2009) e associada à fração argila, cujo mineral predominante é a caulinita. Em estudo comparativo entre caulinita e esmectita, Wattel-Koekkoek et al. (2001) mostraram que a primeira foi rica em polissacarídeos e que a segunda era mais abundante em compostos aromáticos, implicando em diferentes mecanismos de ligação entre argila e COT entre os tipos de argila.

Tabela 6. Compartimentos da matéria orgânica do solo afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Prof.	Dose	Compartimentos da matéria orgânica do solo‡						
		COT	COX	CNOX	PT	PL	CR	CAQ
cm	Mg ha^{-1}	---------- g kg^{-1} ----------						
0-2,5	0+0†	22,7 Ac§	20,0 Ac	2,7 Aab	15,0 Aa	13,6 Aa	2,8 Aa	0,68 ABa
	6+0	25,8 Ab	21,7 Abc	4,2 Aa	17,3 Aa	13,4 Aa	2,6 Aa	0,75 Aa
	0+3	25,1 Ab	24,7 Aab	0,4 Ab	16,7 Aa	14,0 Aa	2,4 Aa	0,74 Aa
	6+3	29,3 Aa	27,7 Aa	1,6 Aab	17,3 Aa	13,5 Aa	2,7 Aa	0,78 Aa
2,5-5	0+0	21,1 Bb	18,3 ABb	2,7 Aa	14,4 ABa	10,7 Bb	2,2 BCa	0,70 Aa
	6+0	21,1 Bb	19,3 ABb	1,8 ABa	14,0 Ba	10,7 Bb	2,3 Aa	0,77 Aa
	0+3	21,7 Bb	20,0 Bb	1,7 Aa	14,7 ABa	12,7 ABab	2,3 Aa	0,76 Aa
	6+3	25,7 Ba	24,7 Aa	1,0 Aa	16,0 ABa	13,5 Aa	2,4 ABa	0,79 Aa
5-10	0+0	17,8 Bb	15,3 BCa	2,4 Aa	12,1 Ba	10,5 Ba	2,6 ABa	0,58 Ba
	6+0	19,5 Ca	17,7 BCa	1,9AB a	13,5 Ba	12,3 ABa	2,2 Aab	0,68 Aa
	0+3	18,4 Cab	15,3 Ca	3,1 Aa	13,3 Ba	11,3 Ba	2,1 Ab	0,64 Aa
	6+3	19,8 Ca	17,7 Ba	2,1 Aa	14,0 Ba	12,1 Aa	2,2 Bab	0,66 Ba
10-20	0+0	15,4 Cb	14,3 Ca	1,0 Aa	12,0 Ba	10,6 Ba	2,0 Cb	0,44 Ca
	6+0	15,8 Cab	15,3 Ca	0,5 Ba	12,4 Ba	11,8 ABa	2,2 Aab	0,45 Ba
	0+3	16,3 Cab	15,3 Ca	0,9 Aa	12,7 Ba	11,4 Ba	2,5 Aa	0,44 Ba
	6+3	16,9 Ca	15,3 Ba	1,6 Aa	13,3 Ba	12,3 Aa	2,1 Bab	0,47 Ca
0-20	**0+0**	**19,2 b**	**17,0 c**	**2,2 a**	**13,38 b**	**11,34 b**	**2,43 a**	**0,60 a**
	6+0	**20,6 b**	**18,5 bc**	**2,1 a**	**14,26 ab**	**12,04 ab**	**2,34 a**	**0,66 a**
	0+3	**20,4 b**	**18,8 b**	**1,5 a**	**14,35 ab**	**12,32 ab**	**2,32 a**	**0,65 a**
	6+3	**22,9 a**	**21,3 a**	**1,6 a**	**15,14 a**	**12,84 a**	**2,35 a**	**0,68 a**

‡COT: carbono orgânico total; COX: carbono oxidável; CNOX: carbono não oxidável; PT: polissacarídeos totais; PL: polissacarídeos lábeis; CR: carbono recalcitrante; CAQ: carbono extraído em água quente. †Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000; §Letras iguais minúsculas nas colunas, comparando tratamentos e maiúsculas nas colunas, comparando profundidade, não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade.

O conteúdo de PL variou conforme o conteúdo de PT e com diferenças estatisticamente significativas na camada de 2,5-5 cm, e no tratamento com a maior dose de calcário (Tabela 6). As formas lábeis de polissacarídeos são utilizadas como fonte de alimento para a microbiota e como as camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm são zonas ativas de agregação, com elevada atividade biológica (SIX et al., 2006; SÁ & LAL, 2009), essas formas dificilmente atingem profundidades maiores (SIX et al., 2002b; 2006). O conteúdo de PL aumentou em 6,2, 8,6 e 13,2 % respectivamente para os tratamentos 6+0, 0+3 e 6+3 em relação à

testemunha. O conteúdo de PL representou cerca de 85 % do PT e 60 % do COT, indicando que nesse estágio do SPD, o COT está estreitamente relacionado com as formas lábeis. Os resultados reportados por Liu et al. (2005) no Canadá corroboram com os obtidos no presente estudo, tendo sido constatado que o conteúdo de PL representou cerca de 75 a 95 % dos PT e que essa variação estava relacionada com o tipo de cultura de cobertura do solo.

Os polissacarídeos são uma classe de carboidratos que têm origem de exudatos radiculares, microorganismos do solo e de resíduos culturais deixados após o manejo ou a colheita da cultura (LIU et al., 2005). As raízes das planta em desenvolvimento produzem grandes quantidades compostos orgânicos, juntamente com os polissacarídeos (GOODFRIEND et al., 2000), os quais são agentes cimentantes transientes na estabilização de agregados (TISDALL e OADES, 1982). Esses compostos orgânicos também estimulam o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo que, por sua vez, produz polissacarídeos extracelulares capazes de estabilizar agregados (LYNCH & BRAGG, 1985). Tendo isso em vista e associando os benefícios que a calagem superficial proporcionou nas condições químicas do solo (CAIRES et al., 2008b), resultando em maior desenvolvimento radicular das culturas, pode-se afirmar que um dos principais mecanismos para o aumento de COT foi a proteção física nos agregados através da estabilização pelos polissacarídeos.

A estabilização de agregados pelos polissacarídeos ocorre através de sua adsorção com as argilas. Isso se dá através de pontes de hidrogênio formadas entre grupos OH dos polissacarídeos e átomos de oxigênio da fase sólida do solo (KOHL & TAYLOR, 1961). Os íons metálicos polivalentes e/ou divalentes, como o Ca^{2+}, participam da adsorção, através da ligação de polissacarídeos aniônicos às cargas negativas das argilas (EDWARDS & BREMNER, 1967; DONTSOVA & BIGHAM, 2005). De acordo com estudo realizado por Dontsova & Bigham (2005), essa adsorção de polissacarídeos nas argilas pode variar de acordo com a força iônica, o tipo de íons na solução do solo e o pH. Seus resultados

demonstraram maior adsorção com o aumento da força iônica e a presença de cátions divalentes, como o Ca^{2+}, porém um decréscimo com aumento do pH. Com a calagem, ocorre aumento na força iônica e na disponibilidade de Ca^{2+}, porém há também aumento no pH que poderia diminuir a adsorção de polissacarídeos. No entanto, vale lembrar que o ambiente da rizosfera pode permanecer mais ácido devido aos exudatos radiculares conterem quantidades expressivas de ácidos orgânicos. Como os polissacarídeos extracelulares também estão em maior quantidade nessa região, pode ocorrer um ambiente favorável à adsorção (DONTSOVA & BIGHAM, 2005).

Alterações no CR não foram observadas entre os tratamentos na camada de 0-20 cm, apesar de ocorrerem pequenas alterações nas camadas estratificadas (Tabela 6). Em geral, esse compartimento representou cerca de 12% do COT. A pequena alteração desse compartimento se dá devido à alta recalcitrância do C extraído (BRUUN et al., 2008). Dessa forma, maiores mudanças no CR ocorrem em prazos superiores aos encontrados nesse experimento (BAYER et al., 2000) em relação aos compartimentos mais lábeis da MOS.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre compartimentos da MOS e atributos químicos do solo mostraram correlações significativas, indicando a interdependência entre essas variáveis (Tabela 7). Comparando a contribuição de COP e COAM, observa-se que os dois compartimentos tiveram elevada contribuição para o aumento COT devido aos seus elevados coeficientes de correlação, porém o primeiro teve um coeficiente ainda mais elevado. Isso indica que a influência da calagem na melhoria das condições químicas no perfil do solo (CAIRES et al., 2008b), causando aumento no aporte de biomassa vegetal (Tabela 1) e acúmulo na fração lábil da MOS (Tabela 5), teve maior reflexo no aumento de COT do que a contribuição de possíveis ligações entre argila e MOS através de ponte catiônica, tendo o Ca^{2+} como principal agente ligante.

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson, envolvendo todos os dados (n=48), entre os compartimentos da matéria orgânica do solo e atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

	COP	COAM	COX	PT	PL	CAQ	CR	Ca	Mg	pH	CTCe
COT	0,90[§]	0,80	0,91	0,80	0,56	0,76	0,42	0,77	0,38	0,66	0,64
COP	-	0,70	0,84	0,80	0,66	0,65	0,40	0,71	0,32	0,58	0,58
COAM	-	-	0,73	0,60	0,29	0,81	0,38	0,52	ns	0,36	0,37
COX	-	-	-	0,73	0,59	0,73	0,36	0,72	0,35	0,62	0,59
PT	-	-	-	-	0,69	0,53	ns	0,58	0,33	0,50	0,51
PL	-	-	-	-	-	0,32	ns	0,46	0,34	0,43	0,42
CAQ	-	-	-	-	-	-	ns	0,59	ns	0,43	0,43
CR	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59	0,86	0,86
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64	0,90
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78

COT: carbono orgânico total; COX: carbono oxidável; CNOX: carbono não oxidável; PT: polissacarídeos totais; PL: polissacarídeos lábeis; CR: carbono recalcitrante; CAQ: carbono extraído em água quente; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; pH: pH em $CaCl_2$; CTCe: capacidade de troca catiônica efetiva. [§]Coeficientes: ns (não tem significância estatística); 0,29 a 0,36 (p=0,05); > 0,36 (p=0,01).

O COT também teve correlações significativas com PT, PL, CR e CAQ (p=0,01), sendo mais elevados para PT e CAQ. A alta correlação entre COT e PT se deve provavelmente ao aumento de agregação promovido pela produção de PT (TISDALL e OADES, 1982), já que dessa forma há uma proteção física do COT dentro dos agregados. Outra provável razão dessa correlação é devida à associação de PT e argila através de ponte catiônica (EDWARDS & BREMNER, 1967; DONTSOVA & BIGHAM, 2005), o que pode aumentar a sua recalcitrância e, sendo o PT parte do COT, a maior proteção do primeiro acarreta em acúmulo do segundo. Já o CAQ é, em geral, amplamente correlacionado com o carbono da biomassa microbiana (HAYNES & FRANCIS, 1993; SPARLING et al., 1998; GHANI et al., 2003), porque é uma forma de extração de polissacarídeos principalmente microbianos. Estudo realizado por Haynes & Francis (1993) mostrou-se que esta fração extraída tem uma relação manose mais galactose sobre arabinose mais xilose (M+G/A+X) de 2,1-2,3 indicando ser predominantemente de origem microbiana. Isso leva a inferir que elevada correlação de CAQ e COT nesse experimento foi devida à alta capacidade de agregação promovida pelos polissacarídeos de origem microbiana.

Outro ponto relevante é a correlação de PT e CAQ com as frações granulométricas da MOS, COP e COAM, constatando-se elevada correlação entre PT e COP e também entre CAQ e COAM (Tabela 7). Isso se explica devido à constituição de carboidratos simples que formam o PT e o CAQ. Os PT são formados pela totalidade de polissacarídeos do solo, incluindo a celulose que é um carboidrato estrutural das plantas (CHESHIRE, 1979). Por isso, sua relação com o COP é elevada, pois nessa fração há grande quantidade de tecidos vegetais ainda pouco modificados, ricos em celulose. Nesse sentido, Puget et al. (1999) estudaram os carboidratos constituintes nas frações COP e COAM e demonstraram que hidrolisados da primeira fração foram caracterizados por uma pequena relação manose/xilose (M/X), indicando uma grande proporção de carboidratos derivados de plantas. Por outro lado, Feller et al. (1991) combinaram extração de polissacarídeos por água quente e microscopia eletrônica de transmissão e observaram alta relação M/X. Demonstraram também, que a fração argila de Oxisolos foi rica em polissacarídeos amorfos, com morfologia típica de exsudatos microbianos e de plantas, corroborando com a elevada correlação entre CAQ e COAM encontradas nesse estudo. Já Puget et al. (1999), comparando métodos de extração de polissacarídeos e sistemas de cultivo, observaram que a relação M/X da extração por água quente só foi maior que outras formas de extração no SPD e atribuíram esse fato, presumivelmente, devido a esse sistema ser mais rico em biomassa microbiana do que o sistema de cultivo convencional. Nesse mesmo estudo, os autores observaram que a relação M/X foi maior na fração silte+argila (COAM) do que na amostra integral ou na fração COP, evidenciando que na fração COAM existe maior relação de polissacarídeos microbianos.

Correlações de COT e atributos químicos do solo também foram elevados (P=0,01), tendo esse mesmo nível de significância para correlações de Ca, pH e CTCe com outros compartimentos da MOS, a não ser com CR (Tabela 7). Isso indica que realmente o aumento de pH, com controle de Al^{3+} tóxico e maior disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} decorrente da

calagem (CAIRES et al., 2008b) favoreceu o aumento de COT. Contudo, os maiores coeficientes foram encontrados entre os atributos químicos e a fração COP da MOS, evidenciando a contribuição das melhorias químicas do solo no retorno de resíduos ao sistema, no longo período do experimento (15 anos). Os coeficientes de correlação entre atributos químicos e a fração COAM também foram significativos, apesar de menores, o que não descarta a possibilidade de ter ocorrido a estabilização de COT nas argilas graças às modificações causadas pela calagem. O aumento no pH, promovido pela calagem, proporcionou a dissociação de H^+ das bordas da caulinita o que acarretou em aumento da CTCe, ou seja, aumento de cargas negativas (CAMARGO et al., 1997). Isso aliado à maior disponibilidade de Ca^{2+} na solução do solo, também resultado da calagem, pode ter promovido a associação argilo-humico com atuação do íon divalente, servindo de ponte catiônica (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005).

Do mesmo modo que o C, o N é um elemento chave nos estudos de matéria orgânica do solo devido à sua participação direta na gênese da humificação (KONONOVA, 1966). Nesse estudo, observou-se que o conteúdo e o estoque de NT variou linearmente com o aumento de COT (Figura 5). Conforme a equação de ajuste, o aumento de COT em 1,0 g kg^{-1} no solo equivale ao aumento de 0,076 g kg^{-1} de NT no solo.

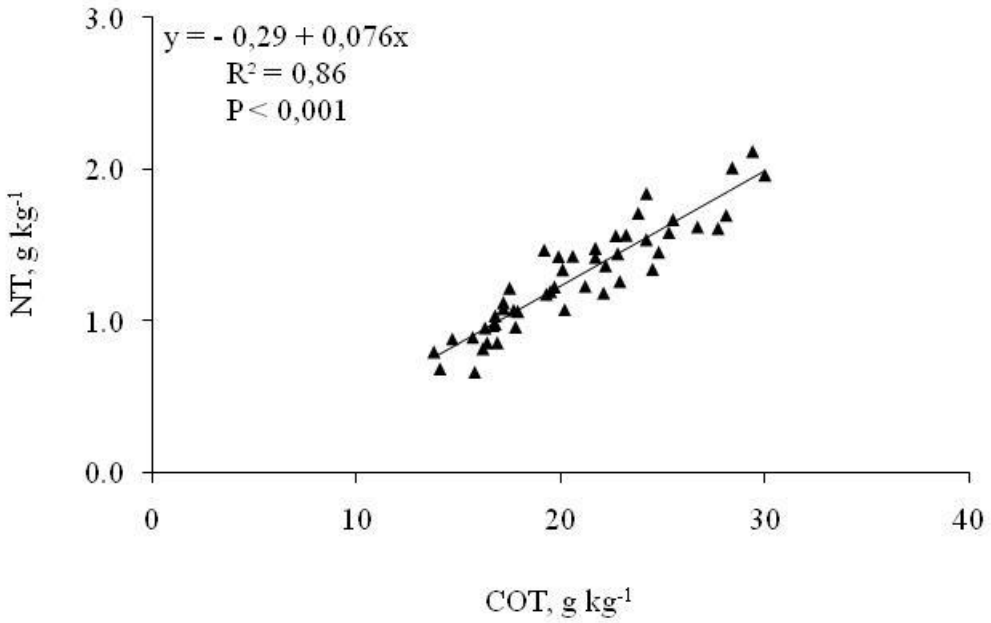

Figura 5. Relação entre o carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT) em um Latossolo Vermelho submetido à calagem superficial sob plantio direto.

A estreita relação do N com COT é relevante porque cerca de 90% do conteúdo total do N está na fração orgânica (STEVENSON, 1986) e, através da mineralização da MOS, ocorre a passagem para as formas nítrica e amoniacal. Com isso, o aumento de NT, concomitante ao aumento do COT, pode promover a substituição parcial de fertilizantes nitrogenados, com impacto direto na redução da emissão de óxidos de N que possuem elevado poder de aquecimento global (AMADO et al., 2001).

3.6 CONCLUSÕES

A calagem superficial em SPD proporcionou aumento no conteúdo e no estoque de COT obedecendo a seguinte ordem dos tratamentos: 6+3 > 6+0 > 0+3 > 0+0.

A calagem superficial promoveu alterações tanto no compartimento lábil (COP) quanto no compartimento estável (COAM) da MOS.

A fração do COP demonstrou relação linear com a adição acumulada de C via resíduos, a qual foi mais elevada nos tratamentos com calagem superficial.

Os compartimentos representados pelos PT e PL aumentaram significativamente na camada 0-20 cm com a calagem e apresentaram correlação linear significativa com o CAQ e o COT.

O COT também se correlacionou significativamente com o COP e o COAM, porém a maior afinidade foi com o COP cujo coeficiente de correlação foi superior, demonstrando que o acúmulo de COT promovido pela calagem teve maior impacto na fração mais lábil da MOS, a qual é reflexo da entrada de C pelo resíduo cultural ao sistema.

4. COMPARTIMENTOS DA MOS NAS CLASSES DE AGREGADOS E MECANISMOS DE PROTEÇÃO DO C ALTERADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

4.1 RESUMO

O carbono contido dentro de agregados está mais protegido do ataque microbiano, o que diminui sua taxa de decomposição, porém a calagem pode alterar os mecanismos de floculação, formação e estabilização de macro e microagregados. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a agregação do solo, a compartimentalização do COT nos agregados e nas frações granulométricas da MOS dentro desses agregados de acordo com a calagem superficial em um experimento de longa duração sob SPD. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho textura média no município de Ponta Grossa, PR. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas consistiram da aplicação de calcário dolomítico na superfície do solo na dose de 0 ou 6 Mg ha^{-1} em 1993, e dose de 0 ou 3 Mg ha^{-1} em 2000 nas parcelas previamente com e sem calcário, compondo os tratamentos: 0+0 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000); 6+0 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 0 Mg ha^{-1} em 2000); 0+3 (0 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000) e 6+3 (6 Mg ha^{-1} em 1993 e 3 Mg ha^{-1} em 2000). As subparcelas foram constituídas pelas profundidades de coleta de solo, sendo realizadas em 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. As coletas de solo foram realizadas em setembro de 2008. O solo coletado foi separado em sete classes de agregados, nas quais foram analisados o conteúdo e o estoque de carbono orgânico total (COT). Com a distribuição dos agregados, foi realizado o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP). Os agregados foram também submetidos ao fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FGMOS), obtendo-se o estoque de COT na fração particulada (COP) e na associada aos minerais (COAM). Agregados de 8-19 mm, da camada 0-2,5 cm, foram analisados por meio de espectrômetro de dispersão de raios X (EDS) para a análise elementar de carbono (C) e cálcio (Ca). A calagem proporcionou acúmulo de COT nos agregados, principalmente na profundidade 0-2,5 cm. Nessa profundidade, o tratamento com maior dose de calcário em relação à testemunha sem calcário, proporcionou um ganho de 13, 9, 5, 0,5, 3, 25 e 33 % para as classes de 19-8, 8-4, 4-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25 e 0,25-0,053 mm, respectivamente. Os tratamentos com calagem apresentaram DMP elevado, o que proporcionou um grande estoque de COT na classe de agregado 8-19 mm. A grande proporção de agregados grandes nos tratamentos com calagem foi estreitamente correlacionado com o conteúdo de COT da amostra integral. A maior dose de calcário proporcionou aumento de estoque de COT, tanto em COP quanto em COAM, visto principalmente na maior classe de agregados, sendo que a proporção de COP em relação ao COAM na média dos tratamentos, nessa classe de agregados, diminuiu em profundidade, ficando em torno de 18, 13, 10 e 8 %, nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Análise elementar de C e Ca demonstraram correlação positiva dos dois elementos contidos em uma secção da fração argila do centro dos agregados de 8-19 mm. A aplicação de calcário em solo dominado na fração argila por caulinita traz benefícios à estruturação e promove aumento de C nos agregados.

Palavras-chave: solo tropical, agregação do solo, cálcio, ponte catiônica, EDS/MEV.

4.2 SUMMARY

The carbon stored within aggregates are more protected from microbial attack, which decreases its decay rate, but the liming can change the mechanisms of flocculation, formation and stabilization of macro-and microaggregates. Thus, the objective of this study was to assess the soil aggregation, the soil organic carbon (SOC) changes in the aggregates and the particle size fractions of SOM within these aggregates according to liming in a long-term NT experiment. The experiment was conducted in an Oxisol, medium texture in Ponta Grossa, PR. The experimental design was a randomized complete block, arranged as split plot with three replications. The main plot consisted of dolomite lime applied on the soil surface at a 0 or 6 Mg ha^{-1} in 1993, and 0 or 3 Mg ha^{-1} in 2000 in plots previously with and without lime, and the treatments was assigned as: 0+0, 6+0, 0+3 and 6+3 Mg ha^{-1}. The subplots were represented by sampling depth and consist of 0-2.5, 2.5-5, 5-10 and 10-20 cm layer. The soil samples were taken in September 2008 and the total organic carbon (TOC) was analyzed in the whole sample, in the aggregates and in the particulate organic carbon (POC) and in the fraction associated with minerals carbon (OCAM). With the aggregates distribution was calculated the mean weight diameter (MWD). The aggregates were also submitted to granulometric fractionation of soil organic matter (GFSOM), resulting in the TOC in particulate fraction (POC) and associated minerals (OCAM). Aggregates of 8-19 mm from 0-2.5 cm layer were analyzed by scan spectrometer dispersive X-ray (EDS) for elemental analysis of carbon (C) and calcium (Ca). The liming affected the SOC accumulation in aggregates in the 0-2.5 cm depth. At this depth, the treatment with high dosis of lime in relation to treatment without lime, provided a gain of 13, 9, 5, 0.5, 3, 25 and 33% for the aggregates size as 19-8, 8-4, 4 -2, 2-1, 1 to 0.5, 0.5 to 0.25 and from 0.25 to 0.053 mm, respectively. The treatments with liming showed high DMP, which provided a large stock of SOC in the aggregate 8-19 mm size. The treatments with liming showed high DMP, which provided a large stock of TOC in 8-19 mm aggregate size. A highest proportion of large aggregates with liming was closely correlated with the TOC content of the whole sample. The highest dosis of liming increase SOC in both COP and in OCAM, mainly in the largest aggregates size.The proportion of COP compared to the average of OCAM, for this aggregates, has decreased in depth , and were around 18, 13, 10 and 8% at depths of 0-2.5, 2.5-5, 5-10 and 10-20 cm, respectively. Elemental analysis of C and Ca showed a positive correlation of the two elements contained in a section of the clay fraction in the center of 8-19 mm aggregates. The results suggest that application of lime in soil dominated by kaolinite has a positive effect for the structure and promotes an increase of C in aggregates.

Key-words: tropical soil, soil aggregation, calcium, cation bridge, mechanisms of C protection.

4.3 INTRODUÇÃO

A estabilização da MOS no solo é o resultado da ação de três mecanismos que ocorrem simultaneamente: a estabilização química, a estabilização bioquímica e a proteção física (STEVENSON, 1994; CHRISTENSEN, 1996). O acúmulo da MOS devido à proteção física ocorre pela influência da agregação na formação dos planos de fraqueza (referem-se às faces dos agregados unidas pelos agentes cimentantes) que atuam como barreiras entre os microorganismos. A agregação é resultado do rearranjamento de partículas, da floculação e da cimentação de microestruturas e microagregados (DUIKER et al. 2003), mediada pelo COT, biota, pontes iônicas, argila e carbonatos (BRONICK & LAL, 2005).

No SPD, devido à não mobilização do solo, ocorre a manutenção dos agregados e da estrutura proporcionando, com o passar do tempo, aumento de macroagregados (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1993; BARRETO et al., 2009; FABRIZZI et al., 2009), e acúmulo de COT (PAUSTIAN et al., 2000; SÁ et al., 2001).

O aumento do aporte de resíduos culturais no SPD (via parte aérea e via sistema radicular) desempenha papel fundamental na agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982). As raízes vivas ou os resíduos culturais e raízes em estágio de decomposição liberam compostos ricos em C que servem como fonte de energia para o desenvolvimento da microbiota do solo. Esses organismos por sua vez são capazes de liberar quantidades consideráveis de polissacarídeos, os quais são altamente eficazes na agregação do solo (CHESHIRE, 1979; OADES, 1984; ROBERT & CHENU, 1992).

Os resíduos culturais frescos e recém adicionados ao solo também atuam como agentes capazes de aumentar a agregação devido à elevada quantidade de compostos orgânicos solúveis (SIX et al., 2006). Segundo Six et al. (1999), em um estudo detalhado sobre a relação do COT com a formação de agregados, as partículas de solo se adsorvem na

superfície desses fragmentos de resíduos, também chamada de carbono orgânico particulado (COP), formando macroagregados. O COP é muito rico em C lábil, que é fonte de energia para os microrganismos. Com a decomposição do COP e condensação dos subprodutos, ocorre a produção de compostos mais recalcitrantes, capazes de estabilizar microagregados dentro do macroagregado.

Os microagregados também são formados por moléculas orgânicas (MO) unidas por argila (A) e cátions polivalentes (CP), como o cálcio, para formar partículas compostas (A–CP–MO), sendo unidas com outras partículas (A–CP–MO) para formar macroagregados $[(A–CP–MO)_x]_y$ (EDWARDS & BREMNER, 1967; TISDALL & OADES, 1982; TISDALL, 1996).

A calagem, uma prática muito utilizada no controle da acidez e do Al^{3+} em solos, pode alterar os mecanismos de floculação, formação e estabilização de macro e microagregados (HAYNES & NAIDU, 1998; SIX et al 2004; BRONICK & LAL, 2005). Contudo, estudos relacionados à esse assunto, principalmente em solos de clima tropical e subtropical, são muito contrastantes. (ROTH et al., 1986; CASTRO & LOGAN, 1991; ROTH & PAVAN, 1991; CHAN & HEENAN, 1998; 1999).

O objetivo desse trabalho foi avaliar os mecanismo de proteção dos compartimentos da MOS nos agregados e identificar a associação do Ca^{2+} com o COT, de acordo com a calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob SPD consolidado, em um experimento de longa duração.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

No item 3.4 (Material e Métodos), do capítulo anterior, foi descrita a localização e a caracterização da área experimental, o delineamento experimental e os tratamentos, as análises granulométricas e mineralógicas, além da análise estatística empregados. Contudo, nesse capítulo, as classes de agregados entraram como um fator independente na análise estatística, sendo analisados como subsubparcelas.

4.4.1 Coleta de agregados

As amostras de solo para separação das classes de agregados foram coletadas em capacidade de campo, com auxilio de uma espátula, retirando-se um bloco indeformado da camada amostrada. A coleta foi feita nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm. Cada bloco foi passado através de uma peneira com abertura de 19 mm, no próprio local da amostragem, rompendo o solo delicadamente com os dedos, nas linhas de fraqueza (Barreto et al, 2009). Os agregados que passaram pela peneira foram acondicionados em bandejas de isopor para a manutenção da umidade, pois agregados muito secos podem levar à falsa alta resistência.

4.4.2 Separação das classes de agregados estáveis em água

As classes de agregados foram separadas por peneiramento úmido por um processo baseado em Castro Filho et al. (1998). O peneiramento, para cada amostra, foi conduzido em triplicata, devido à distribuição de agregados ser bastante variável no solo. Cada série da triplicata continha uma seqüência de 7 peneiras (8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,053 mm). Uma sub-amostra de 100 g foi umedecida por capilaridade por 10 min, colocando-a em um papel filtro no topo da peneira de 8 mm. O volume de água foi colocado no reservatório até o nível de

molhar o papel filtro. O papel filtro então foi removido e o processo de peneiramento foi conduzido através da agitação vertical, das três séries de peneiras, com 30 oscilações por minuto, durante um período de 15 min. No final, cada classe de agregado estável em água foi passada para um recipiente plástico e secada à temperatura de 60ºC.

4.4.3 Cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP)

O diâmetro médio ponderado foi calculado através da fórmula:

onde, wi = proporção de cada classe em relação ao total e xi = diâmetro médio das classes (mm).

4.4.4 Análise elementar de agregados através de MEV/EDS

Em cada tratamento selecionou-se um agregado de tamanho 8-19 mm, separado através da tamisação úmida da camada 0-2,5 cm. Na sequência, o agregado foi umedecido por capilaridade, através de sua colocação sobre um papel filtro saturado e, delicadamente foi rompido com os dedos, na linha de fraqueza que mais se aproximava da sua metade. A análise foi realizada através de um espectrômetro de dispersão de raios X (EDS) acoplado a um microscópio eletrônico de varredura (MEV). Cada agregado foi analisado no centro, através de uma análise de linha, de tamanho aproximado de 24 m, com 512 pontos de leitura na secção. No decorrer dessa linha, foram detectados C e Ca, os quais foram plotados em um gráfico, constando no eixo das abcissas a distância em m da secção analisada e no eixo das ordenadas a contagem em “counts” de cada elemento.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Conteúdo e estoque de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados

A calagem superficial proporcionou acúmulo de COT nas classes de agregados na camada de 0-2,5 e 2,5-5 cm (Tabela 8). Na camada mais superficial do solo, o tratamento 6+3 teve grande contribuição no aumento de COT, principalmente, nas classes de agregados de 8-19, 0,5-0,25 e 0,25-0,053 mm.

Tabela 8. Conteúdo de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Prof.	Dose	Classes de agregados, mm						
		19-8	8-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,053
cm	Mg ha^{-1}	----------	----------	----------	g kg^{-1}	----------	----------	----------
0-2,5	0+0[†]	22,3 Ba[§]	22,5 Aba	24,3 ABa	24,7 Aa	22,3 ABa	15,9 Cb	12,4 Bc
	6+0	23,2 ABa	22,7 Aba	23,3 ABa	23,9 Aa	23,0 Aa	19,1 ABb	13,8 ABc
	0+3	21,8 Bab	21,2 Bab	21,7 Bab	23,1 Aa	19,9 Bd	16,5 BCc	12,2 Bd
	6+3	25,1 Aa	24,5 Aa	25,4 Aa	24,8 Aa	22,9 Aa	19,8 Ab	16,5 Ac
2,5-5	0+0	20,9 Aa	20,0 Ba	19,9 Ba	21,2 ABa	21,2 Aa	15,9 Ab	11,9 Ac
	6+0	21,5 Aa	20,1 Bab	20,2 Bab	18,6 Bb	18,9 Aab	15,7 Ac	14,2 Ac
	0+3	19,8 Aab	19,9 Bab	20,1 Bab	20,5 Ba	20,0 Aab	17,5 Ab	13,3 Ac
	6+3	22,6 Aa	23,8 Aa	23,0 Aa	23,5 Aa	21,6 Aa	18,1 Ab	14,7 Ac
5-10	0+0	17,3 Aa	17,2 Aa	16,4 Aa	16,7 Aa	16,9 ABa	12,3 Ab	10,7 Ab
	6+0	16,9 Aab	16,7 Aab	17,2 Aa	17,4 Aa	17,9 ABa	14,2 Abc	11,9 Ac
	0+3	16,3 Aa	15,9 Aa	15,6 Aa	16,7 Aa	16,1 Ba	12,3 Ab	10,1 Ab
	6+3	18,4 Aa	18,6 Aa	18,2 Aa	19,1 Aa	19,2 Aa	14,6 Ab	12,8 Ab
10-20	0+0	14,2 Aa	13,8 Aa	13,3 Aab	13,9 Aa	14,3 Aa	10,6 Abc	8,5 Ac
	6+0	15,3 Aa	15,9 Aa	16,0 Aa	15,3 Aa	15,7 Aa	12,3 Ab	9,6 Ab
	0+3	14,5 Aa	14,0 Aa	14,6 Aa	15,0 Aa	14,1 Aa	10,8 Ab	8,7 Ab
	6+3	14,9 Aa	15,0 Aa	14,2 Aab	15,9 Aa	15,2 Aa	11,9 Abc	9,8 Ac

[†]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000; [§]Letras iguais maiúsculas nas colunas, comparando tratamentos e minúsculas nas linhas, comparando classes de agregados, não diferem entre si pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade.

Em todas as camadas constatou-se que as concentrações de COT nos agregados maiores que 0,5 mm foram superiores às concentrações da classe 0,5-0,25 mm, as quais foram superiores às da classe 0,25-0,053 mm. Isso demonstra que nesse solo deve estar ocorrendo a sequência hierárquica na formação de agregados, como descrito por Tisdall & Oades (1982).

A comparação dos tratamentos 6+3 e 0+0, na camada de 0-2,5 cm, mostrou que a calagem proporcionou um ganho no conteúdo de COT de 13, 9, 5, 0,5, 3, 25 e 33 %, respectivamente para as classes de 19-8, 8-4, 4-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25 e 0,25-0,053 mm (Tabela 8). Isso demonstra que o acúmulo de COT devido à calagem ocorreu principalmente, nos macroagregados muito grandes e nos microagregados.

O maior conteúdo de COT nos microagregados no tratamento 6+3 pode ser atribuído à maior concentração de Ca atuando como uma ponte catiônica entre a superfície dos colóides inorgânicos e orgânicos (SIX et al., 2004; BRONICK & LAl, 2005).. Devido ao cálcio exercer influência na complexação organo-mineral, a sua estabilização é observada principalmente ao nível de microagregados (SIX et al., 2004). Segundo Baldock et al. (1994), o processo de formação de pontes de cálcio, é o fator dominante do efeito positivo de longo prazo da adição de cálcio sobre a estabilidade estrutural do solo.

A calagem superficial também pode ter proporcionado o maior acúmulo de COT devido à proteção física intra-macroagregados. O maior nível de agregação demonstrado pelo aumento do DMP nesses tratamentos (Figura 6) suporta esses argumentos.

O maior DMP encontrado foi no tratamento 6+3, seguido dos tratamentos 6+0 e 0+3, sendo menor no tratamento 0+0. Seguindo essa mesma seqüência de tratamentos, observou-se um acréscimo no tamanho de agregados, em relação à testemunha, de 10,7, 8,3 e 5,6 %. Tal fato pode ter ocorrido devido aos benefícios químicos ao solo promovidos pela calagem, com possível maior entrada de C via resíduos ao sistema. Segundo Vezzani (2001), com a ocorrência de elevado fluxo de energia e matéria, o nível de organização do solo é mais elevado, desenvolvendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas. Em contraste, a redução nos fluxos de energia resultam em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados.

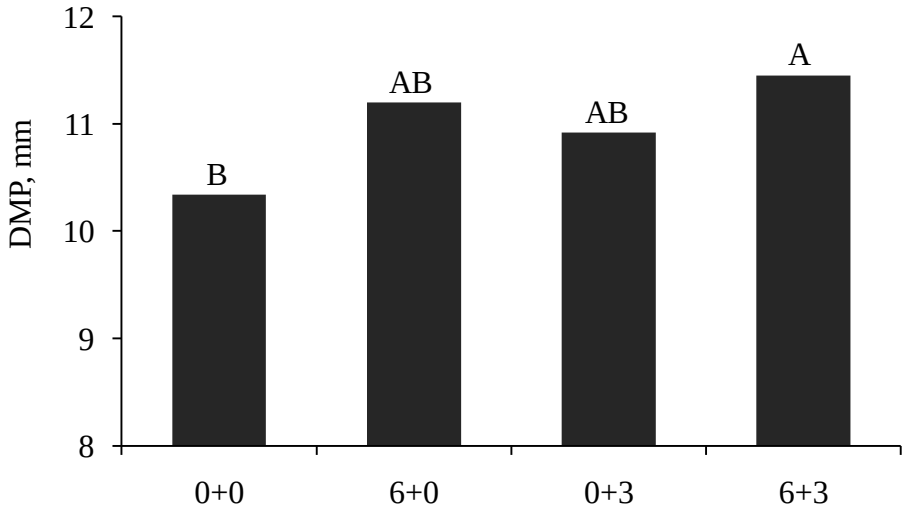

Figura 6. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Nesse sentido, Muneer & Oades (1989) podem dar o suporte para a afinidade que ocorreu entre o maior conteúdo de COT nos tratamentos com calagem e a maior disponibilidade de Ca^{2+}. Esses autores reportaram que a adição de glicose mais $CaCO_3$ resultou na formação de macroagregados com mais de 2 mm em 80% do solo e apenas uma pequena porção com agregados menores que 0,05 mm.

Segundo Haynes (1984), o aumento da estabilidade estrutural de solos ácidos com apreciáveis quantidades de Al trocável após a calagem também pode ser explicado devido o fato do Al trocável ser precipitado como hidróxido de Al, carregado positivamente. Esse hidróxido de Al é fortemente adsorvido na superfície de argilas, diminuindo seu potencial negativo, se tornando um agente floculante de colóides. O hidróxido de Al, em quantidades suficientes, também pode atuar como agente cimentante de partículas, formando agregados mais estáveis (HAYNES & NAIDU, 1998).

Além disso, as raízes que podem ser mais abundantes em solos ácidos que receberam calagem (BRADY et al., 1993; CAIRES et al., 2006; CORRÊA et al., 2008) também são importantes agentes de agregação. Quando vivas, elas podem liberar compostos ricos em C

que servem como fonte de energia para o desenvolvimento microbiano (OADES, 1978), com conseguinte produção de polissacarídeos capazes de estabilizar agregados (HAYNES & FRANCIS,1993; MARTINS et al., 2009). Elas podem também juntar micro e mesoagregados, formando macroagregados, através do emaranhamento das partículas (TISDALL & OADES, 1982; SILVA & MIELNICZUK, 1997; JASTROW et al., 1998). Todavia, quando mortas, elas podem ser o núcleo para a formação de novos macroagregados (SIX, 1999), sendo o C derivado de raízes mais eficaz na macroagregação que o C derivado de resíduos de parte aérea (GALE et al., 2000).

O aumento na estabilidade de agregados por meio da adição de Ca^{2+} foi reportado em um estudo com solos de textura média e argilosa, dominados por caulinita, em Trinidade e Tobago, e esse efeito foi ainda mais pronunciado através da adição de matéria orgânica (WUDDIVIRA & CAMPS-ROACH, 2007). Na mesma linha de estudo, Hati et al. (2008) reportaram um incremento no DMP para o tratamento NPK+calagem de 15 e 44 %, em relação ao tratamento que recebeu somente NPK e à testemunha (sem insumo), respectivamente, em um solo com predominância de caulinita e ilita (Typic Haplustalf) na Índia.

Por outro lado, a aplicação de 1,5 Mg ha^{-1} de calcário em solo oxídico (Oxic Paleustalf) da Austrália promoveu, depois de um ano, um decréscimo na estabilidade estrutural em solo sob SPD, motivado pela elevação do pH e da atividade microbiana e pela diminuição de COT (CHAN & HEENAN, 1998). No entanto, nesse mesmo experimento, o decréscimo inicial da estabilidade foi seguido por acréscimo na estabilidade estrutural três anos após a aplicação do calcário (CHAN & HEENAN, 1999), indicando que o efeito inicial é temporário e predomina os benefícios em longo prazo.

Sabendo-se que o DMP é tanto maior quanto maior a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, pode-se inferir que a calagem proporcionou

acúmulo de grandes macroagregados (8-19 mm). Esse efeito proporciona tanto benefícios físicos, como maior infiltração de água e menor erosão (ROTH et al., 1986; CASTRO FILHO et al., 1991; FRANZLUEBBERS, 2002b), quanto maior proteção física da MOS (BALABANE & PLANTE, 2004; MIKHA & RICE, 2004). Esse incremento na formação de macroagregados grandes pode ter impacto positivo no desenvolvimento das culturas em anos com limitação hídrica, uma vez que haverá maior porosidade intra-agregado que irá contribuir no armazenamento de água por períodos mais longos.

O COT dentro de microagregados é considerado mais estável à decomposição microbiana, proporcionando acúmulo de MOS por longo período (OADES, 1984; ANGERS et al., 1997). No entanto, os macroagregados têm sido considerados um fator chave na formação de novos microagregados (SIX et al., 2000), devida a proteção do COT intra-agregado. Portanto, práticas culturais que afetam a dinâmica dos macroagregados, como a calagem demonstrou nesse estudo, têm implicações de longo alcance no seqüestro de COT e estabilização da MOS.

O estoque de COT nos agregados foi amplamente afetado pela distribuição de massa de solo nas frações de agregados (Tabela 9). Devido uma grande proporção do solo ter ficado retida na peneira de 8 mm, o estoque na fração 19-8 mm foi expressivamente superior às demais classes de agregados, representando 78, 84, 82 e 86 % do estoque total para os tratamentos 0+0, 6+0, 0+3 e 6+3, respectivamente.

Tabela 9. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas classes de agregados afetados pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Prof.	Dose	Classes de agregados, mm						
		19-8	8-4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,053
cm	---------- Mg ha^{-1} ----------							
0-2,5	0+0[†]	7,0 (76,1)[‡]	0,28 (3,1)	0,36 (3,6)	0,21 (2,1)	0,22 (2,5)	0,26 (4,0)	0,11 (2,1)
	6+0	8,3 (81,3)	0,25 (2,6)	0,23 (2,2)	0,18 (1,7)	0,23 (2,3)	0,23 (2,7)	0,16 (2,8)
	0+3	7,6 (75,8)	0,38 (3,9)	0,29 (3,0)	0,24 (2,4)	0,26 (2,8)	0,31 (4,4)	0,18 (3,3)
	6+3	9,6 (83,6)	0,27 (2,4)	0,23 (2,0)	0,20 (1,7)	0,19 (1,8)	0,19 (2,1)	0,16 (2,2)
DMS[§] (P=0,05)		1,61	0,08					
2,5-5	0+0	6,6 (81,3)	0,24 (3,2)	0,21 (2,7)	0,18 (2,2)	0,22 (2,6)	0,17 (2,8)	0,10 (2,1)
	6+0	6,9 (85,3)	0,23 (2,8)	0,18 (2,2)	0,12 (1,7)	0,12 (1,7)	0,10 (1,8)	0,09 (1,7)
	0+3	7,1 (86,1)	0,21 (2,6)	0,18 (2,2)	0,12 (1,4)	0,12 (1,6)	0,13 (2,0)	0,09 (1,6)
	6+3	8,3 (84,8)	0,32 (3,2)	0,22 (2,2)	0,19 (1,9)	0,15 (1,6)	0,16 (2,0)	0,10 (1,7)
DMS (P=0,05)		1,25	0,07					
5-10	0+0	10,5 (77,9)	0,48 (3,8)	0,47 (3,9)	0,43 (3,6)	0,41 (3,4)	0,28 (3,1)	0,14 (1,7)
	6+0	12,3 (85,1)	0,41 (2,9)	0,37 (2,5)	0,28 (2,0)	0,26 (1,8)	0,21 (1,8)	0,16 (1,7)
	0+3	11,2 (81,0)	0,43 (3,2)	0,46 (3,6)	0,39 (2,8)	0,37 (2,7)	0,21 (2,1)	0,14 (1,7)
	6+3	13,2 (90,0)	0,21 (1,5)	0,22 (1,6)	0,16 (1,1)	0,15 (1,1)	0,13 (1,2)	0,11 (1,2)
DMS (P=0,05)		1,89	0,09					
10-20	0+0	12,9 (56,7)	1,27 (5,9)	1,59 (7,5)	1,95 (8,8)	2,03 (8,9)	0,92 (5,5)	0,42 (3,1)
	6+0	15,6 (69,0)	1,37 (7,7)	1,36 (5,7)	1,25 (5,5)	1,11 (4,8)	0,61 (3,4)	0,34 (2,4)
	0+3	16,0 (68,2)	1,10 (4,9)	1,50 (6,3)	1,51 (6,3)	1,21 (5,4)	0,59 (3,4)	0,34 (2,4)
	6+3	17,3 (71,4)	0,99 (4,1)	1,20 (5,2)	1,48 (5,6)	1,25 (5,1)	0,58 (3,1)	0,32 (2,1)
DMS (P=0,05)		5,40	0,38					

[†]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000; [‡]Os valores entre parênteses indicam a porcentagem da massa de solo encontrada em cada classe de agregado; [§]Diferença mínima significativa pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

A influência do COT na formação de macroagregados grandes, observada com a relação entre COT na amostra integral e a porcentagem de solo retida na classe de 8-19 mm (Figura 7), suporta o argumento que o aumento do COT propicia aumento de macroagregados grandes. A relação estreita foi encontrada entre as duas variáveis para as camadas de 0-2,5, 5-10 e 10-20 cm. A calagem, devido à promoção de maior conteúdo de COT na amostra integral, proporcionou a formação de elevada porcentagem de grandes macroagregados (8-19

mm). Em contraste, no tratamento testemunha, no qual constatou-se menor conteúdo de COT, o solo desenvolveu estrutura com menor quantidade desses macroagregados.

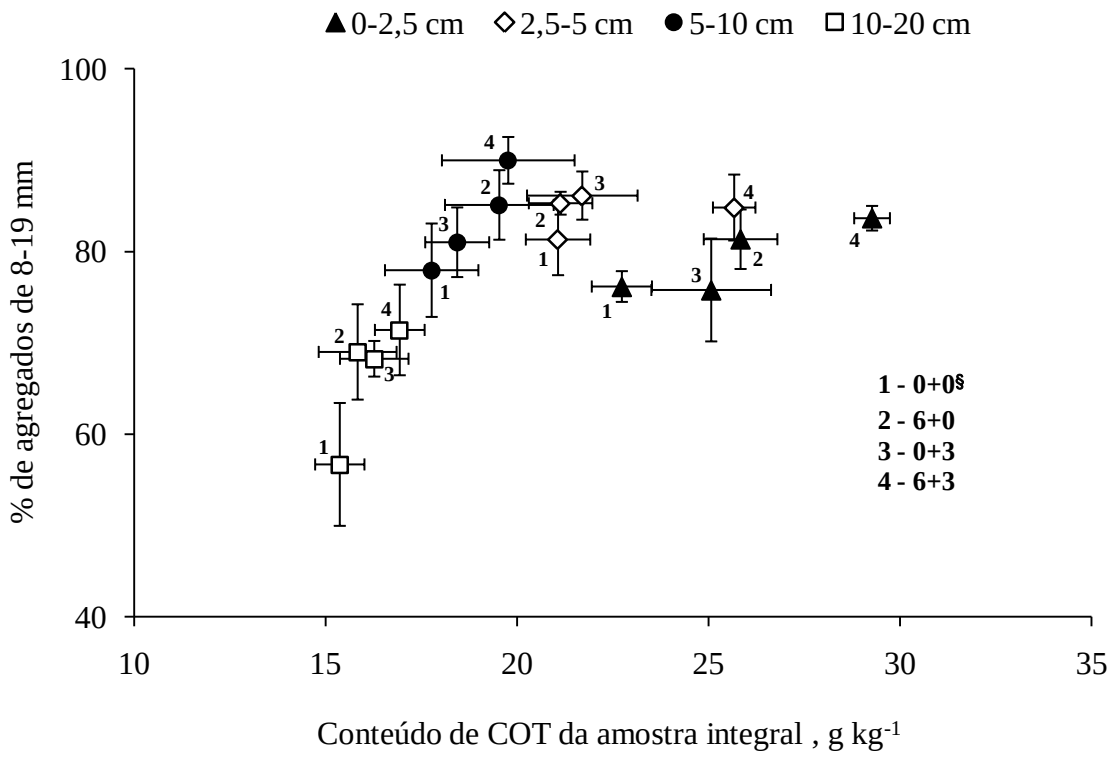

Figura 7: Relação entre a porcentagem de solo da fração de agregado 19-8 mm e conteúdo de carbono orgânico total (COT) da amostra integral, afetados por doses de calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, em quatro profundidades de estudo. Equações: 0-2,5 cm: *MS=40,5+1,51COT (P=0,01)*; 2,5-5 cm: *MS=67,3+0,76COT (P=0,21)*; 5-10 cm: *MS=28,2+2,93COT (P=0,0006)*; 10-20 cm: *MS=-74+4,16COT (P=0,04)*. §Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário, em Mg ha^{-1}, aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000. As barras verticais e horizontais indicam o erro padrão das médias da massa de solo da fração de agregado 19-8 mm e conteúdo de COT da amostra integral, respectivamente.

Constatou-se também, que nas classes 8-4 e 4-2 mm, em todos os tratamentos com calagem e nas camadas amostradas, houve maior estoque de COT em relação às classes menores que 1 mm (Tabela 9), sugerindo que em todos os tratamentos, mesmo sem calagem, o SPD proporcionou acúmulo de COT nos agregados maiores.

4.5.2 Estoque de carbono orgânico total (COT) na fração lábil (COP) e associada aos minerais (COAM)

O fracionamento físico da MOS intra-agregado mostrou que o tratamento 6+3 proporcionou aumento de C tanto na fração lábil (COP), quanto na fração mais recalcitrante (COAM). No entanto, esse efeito ocorreu principalmente na classe de agregado de 8-19 mm (Tabela 10). Segundo Sá et al. (2008), o maior estoque de COT na fração estável (COAM) indica que o processo de acúmulo de C está sendo contínuo e que o incremento de C na fração lábil (COP) representa o impacto dos resíduos que vão se acumulando e se transformando devido à atividade microbiana. O maior estoque na fração COP indica que o solo está se comportando como um dreno e em direção ao seqüestro.

O aumento do estoque de COT na fração COAM foi maior nos tratamentos 6+3 e 6+0, justamente os que receberam a primeira dose de calcário em 1993. O tratamento 0+3, que somente recebeu calagem em 2000, apresentou estoque menor, indicando que a mudança desse compartimento decorrente de manejos culturais é mais demorada.

A proporção de COP em relação ao COAM, na classe de agregados 19-8 mm, diminuiu em profundidade, ficando em torno de 18, 13, 10 e 8 % nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm respectivamente (Figura 8). O tratamento 6+3 foi o que manteve essa relação mais elevada no perfil do solo (24, 23, 13 e 9 % na mesma seqüência de profundidade). Por outro lado, o tratamento 0+0 apresentou as menores relações, com 13, 9, 7 e 7 % de COP, seguindo da camada superficial até a mais profunda.

Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total (COT) nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo (FGMOS) dentro de cada classe de agregado, afetado pela calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

Prof.	Dose	Classes de agregados, mm												Total integral
		19-8	8-4	4-2	2-0,5	0,5-0,053	Total	19-8	8-4	4-2	2-0,5	0,5-0,053	Total	
		COP						COAM						
cm		Mg ha^{-1}												
0-2,5	0+0[#]	1,21	0,04	0,05	0,08	0,05	1,4	5,75	0,24	0,31	0,36	0,31	7,0	8,4
	6+0	1,60	0,03	0,03	0,06	0,06	1,8	6,67	0,22	0,20	0,35	0,33	7,8	9,6
	0+3	1,65	0,06	0,05	0,09	0,07	1,9	5,95	0,33	0,25	0,40	0,42	7,3	9,3
	6+3	2,71	0,05	0,04	0,05	0,06	2,9	6,87	0,23	0,19	0,34	0,29	7,9	10,8
DMS[§] (P=0,05)		0,69[†]	0,02[‡]				0,6[††]	1,16[†]	0,08[‡]				0,7[‡‡]	0,9[†††]
2,5-5	0+0	0,73	0,02	0,02	0,03	0,03	0,8	5,87	0,22	0,19	0,36	0,24	6,9	7,7
	6+0	0,82	0,02	0,01	0,02	0,02	0,9	6,09	0,21	0,17	0,22	0,17	6,9	7,7
	0+3	1,08	0,02	0,02	0,03	0,03	1,2	6,02	0,19	0,16	0,21	0,19	6,8	8,0
	6+3	2,43	0,04	0,02	0,06	0,03	2,6	5,84	0,28	0,19	0,28	0,22	6,8	9,4
DMS (P=0,05)		0,74[†]	0,02[‡]				0,7[††]	1,09[†]	0,08[‡]				1,0[‡‡]	1,0[†††]
5-10	0+0	0,90	0,04	0,04	0,06	0,04	1,1	9,59	0,44	0,43	0,78	0,38	11,6	12,7
	6+0	1,43	0,03	0,03	0,05	0,04	1,6	10,86	0,37	0,34	0,50	0,33	12,4	14,0
	0+3	1,27	0,04	0,04	0,06	0,04	1,4	9,93	0,40	0,42	0,69	0,31	11,8	13,2
	6+3	2,04	0,03	0,02	0,04	0,03	2,2	11,12	0,19	0,20	0,27	0,22	12,0	14,2
DMS (P=0,05)		0,49[†]	0,02[‡]				0,5[††]	1,71[†]	0,13[‡]				1,1[‡‡]	1,4[†††]
10-20	0+0	1,11	0,11	0,13	0,36	0,17	1,9	11,74	1,16	1,45	3,61	1,16	19,1	21,0
	6+0	1,35	0,11	0,11	0,18	0,10	1,9	14,27	1,26	1,25	2,17	0,85	19,8	21,7
	0+3	1,36	0,09	0,14	0,22	0,11	1,9	14,64	1,01	1,36	2,50	0,82	20,3	22,3
	6+3	1,68	0,09	0,10	0,24	0,11	2,2	15,65	0,91	1,10	2,50	0,79	21,0	23,2
DMS (P=0,05)		0,57[†]	0,07[‡]				0,4[††]	4,97[†]	0,56[‡]				3,3[‡‡]	3,3[†††]

[#]Os números antes do sinal de adição representam as doses de calcário aplicadas em 1993 e os depois do sinal representam as doses de calcário aplicadas em 2000; [§]Diferença mínima significativa pelo teste de LSD a 5% de probabilidade; [†]DMS referente à comparação dos tratamentos na classe de agregados de 19-8 mm em cada profundidade; [‡]DMS referente à comparação dos tratamentos nas demais classes de agregados em cada profundidade; [††]DMS referente à comparação dos tratamentos no COP total (∑ do estoque de COT das classes de agregados) em cada profundidade; [‡‡]DMS referente à comparação dos tratamentos no COAM total (∑ do estoque de COT das classes de agregados) em cada profundidade. [†††]DMS referente à comparação dos tratamentos na amostra integral em cada profundidade.

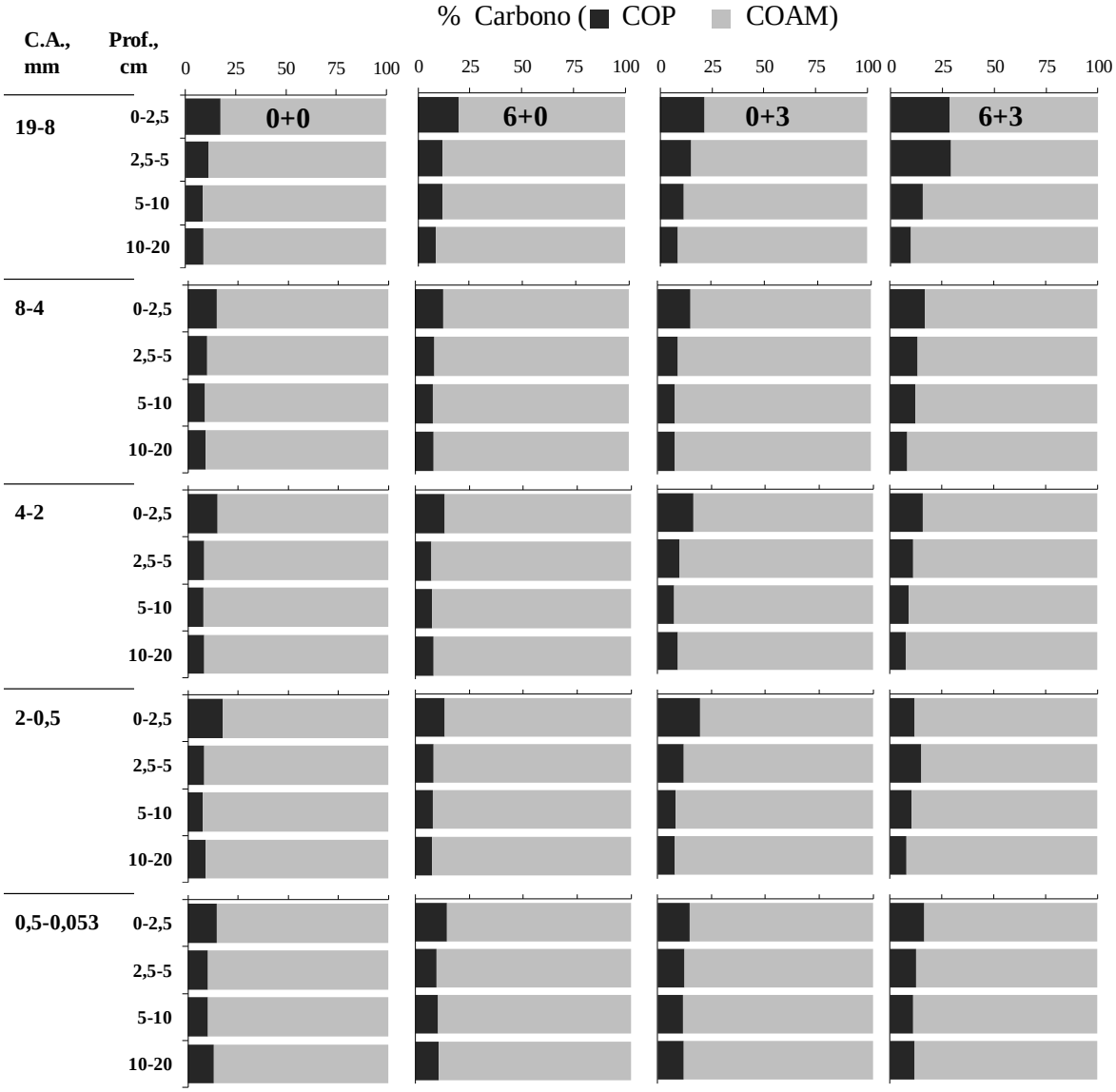

Figura 8. Proporção de carbono orgânico particulado (COP) em relação ao carbono associado aos minerais (COAM) no reservatório total de carbono orgânico total (COT), em classes de agregados nas quatro profundidades estudadas.

Esses resultados demonstram que na camada superficial e nos tratamentos com calagem o C adicionado via resíduos, tanto de parte aérea quanto de raízes, tem elevada importância no aumento do compartimento total de COT. Estudos realizados com espectroscopia de fluorescência, ressonância paramagnética eletrônica (BAYER et al. 2002) e fracionamento físico granulométrico (VIEIRA et al., 2007) mostraram que o C lábil, aqui representado pelo COP, é estreitamente relacionado com o C adicionado via resíduos.

A maior agregação de solo e a maior participação de COP com a calagem superficial indicam que o maior fluxo de energia e C beneficiam a estruturação do solo com sua auto-organização (VEZZANI, 2001).

Cosiderando o exposto, pode-se dizer que a calagem superficial aumentou COT nos agregados e também aumentou a agregação do solo. No entanto, a formação e estabilização de agregados no solo e o COT andam de forma paralela, ou seja, o aumento de um promove benefícios ao outro e vice-versa. A entrada de C via resíduos, com conseqüente formação de COP, proporciona a macroagregação (TISDALL & OADES, 1982). Essa estrutura dificulta o acesso de microorganismos à matéria orgânica "jovem" que, com o passar do tempo, através de transformações e condensação, passa para formas humificadas que são factíveis de estabilizar microagregados, os quais são ainda mais efetivos na proteção do COT (SIX et al., 2002a).

4.5.3 Identificação da associação do Ca ao C intra-agregado

Análise de contagem de C e Ca no centro de agregados de tamanho 8-19 mm, da camada de 0-2,5 cm, através de análise de varredura em linha realizada com EDS/MEV, indicou alta correlação entre os dois elementos (Figura 9). Percebe-se que no decorrer da secção analisada (linha cinza na foto), quando houve aumento de Ca ocorreu também aumento de C, sugerindo interdependência desses elementos.

Sabendo-se que a análise foi realizada na fração argila desses solos, a qual possui cargas negativas, é factível presumir que a ligação de C na argila foi favorecida pela presença de Ca, o qual pode ter atuado como um íon formador de uma ponte catiônica (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005). Essa ligação é uma forma de estabilizar e aumentar o tempo de permanência do C no solo, devida à proteção física derivada da formação de microagregado (EDWARDS & BREMNER, 1967).

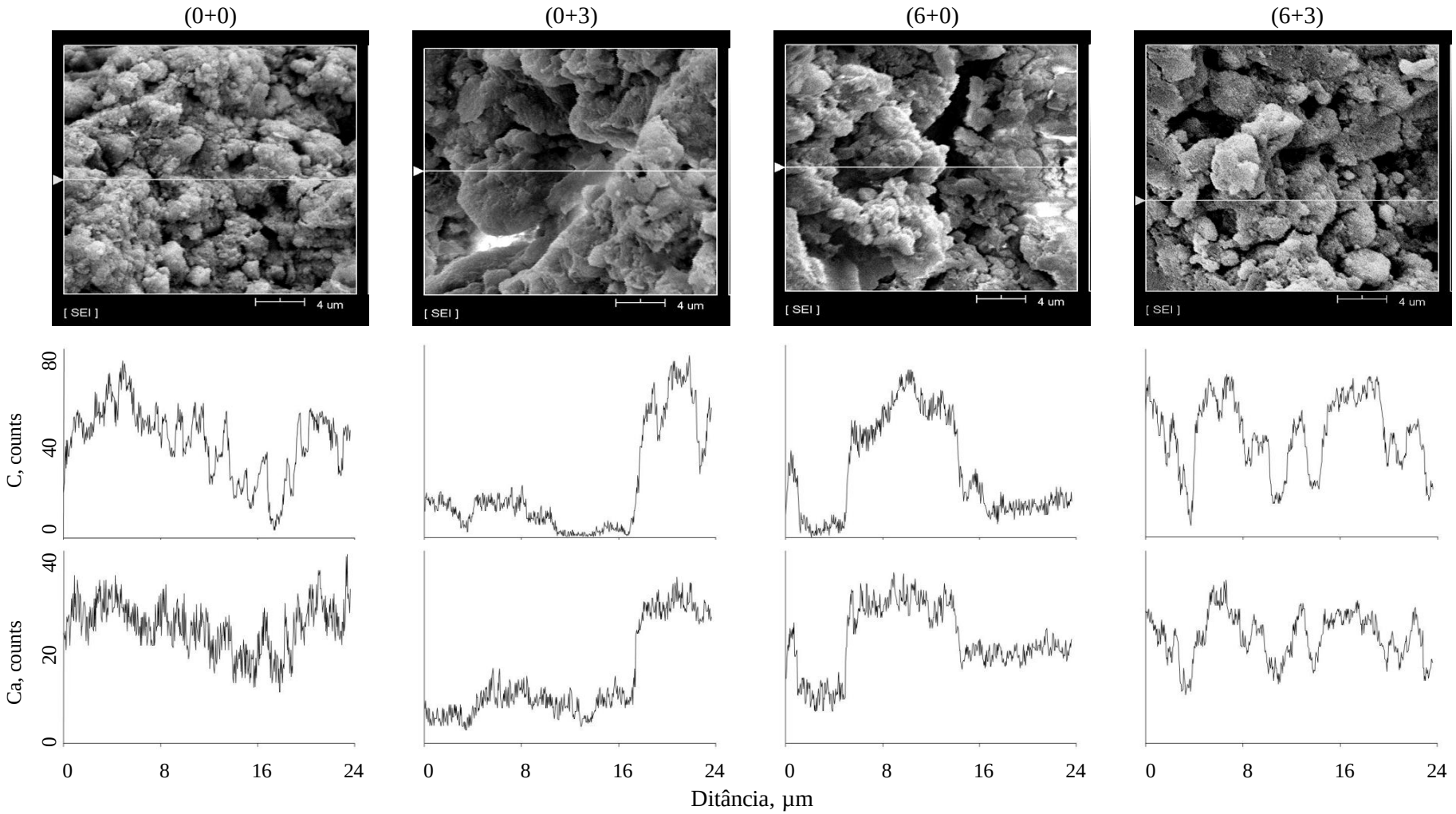

Figura 9. Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X (EDS) na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, nos tratamentos 0+0, 0+3, 6+0 e 6+3 Mg ha^{-1} em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Linha branca na foto representa o local da leitura dos 512 pontos. Conjuntos de gráficos, no terço inferior e médio da figura, representam a contagem Ca e C, respectivamente no decorrer da linha.

Aliado a isso, o aumento da força iônica, juntamente com maior disponibilidade de Ca^{2+} na solução do solo, nos tratamentos com calagem, pode ter promovido a diminuição da espessura da dupla camada difusa, proporcionando a floculação de colóides (SPARKS, 2003). A disponibilidade de cátions polivalentes e/ou divalentes, como o Ca, é um fator importante também na proteção química do COT. A alta saturação de argilas com esses cátions ajuda a manter o complexo organomineral mais floculado e condensado, reduzindo a eficiência do ataque microbiano e enzimas (BALDOCK & SKJEMSTAD, 2000).

Ponte catiônica, tendo o Ca^{2+} como cátion principal na ligação, é muito comum em solos de regiões de clima mais temperado, onde a concentração natural do elemento é elevada. Em solos de regiões tropicais e subtropicais, elementos como H^{+} e Al^{3+}, que são mais abundantes em condições naturais do solo, são os principais cátions que atuam na ligação de partículas negativas. Devido o pequeno raio hidratado do H^{+} e a alta valência do Al^{3+}, solos dominados por esses cátions possuem geralmente agregados bastante estáveis. No entanto, nesse estudo a calagem superficial em solo mais intemperizado promoveu aumento de Ca^{2+} no complexo de troca catiônica e na formação de agregados, principalmente nos de tamanho 8-19 mm (Figura 6). A calagem ainda promoveu aumento de C na fração associada aos minerais (Tabela 10), a qual é reflexo de interações com silte e argila. A análise de uma secção da fração argila, com o uso do EDS/MEV, revelou que o Ca^{2+} correlacionou-se com o C em escala micrométrica (Figura 9).

Com isso, pode-se afirmar que a aplicação superficial de calcário, em doses adequadas, em solo com predominância de caulinita na fração argila não promove efeitos deletérios ao solo, pelo contrário, traz benefícios à sua estruturação e promove aumento de C nos agregados, constituindo-se em uma prática que, além de promover a melhoria da fertilidade do solo, ocasiona também positivo impacto ambiental por atuar no aumento de seqüestro de C.

4.6 CONCLUSÕES

O tratamento com maior dose de calcário proporcionou o acúmulo de COT na camada de 0-2,5 cm, principalmente nas classes de agregados de tamanho 19-8, 0,5-0,25 e 0,25-0,053 mm.

A calagem superficial proporcionou maior DMP com maior quantidade de massa de solo na classe 19-8 mm, o qual foi estreitamente relacionado com o COT da amostra integral.

O estoque de COT nos agregados foi amplamente maior na classe 19-8 mm em relação às demais. Nessa classe, a calagem proporcionou aumento no estoque de COT.

A maior dose de calcário proporcionou, na camada de 0-2,5 cm, aumento no estoque de COT tanto na fração lábil quanto na recalcitrante. Esse tratamento também teve uma relação COP/COAM acima dos demais, nessa camada.

A análise com varredura em linha e raios-X de agregados de tamanho 8-19 mm confirmou que o Ca teve correlação significativa com o COT e atuou como uma ponte catiônica, contribuindo para o seqüestro de C.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Após 15 anos da aplicação e 7 anos da reaplicação, a calagem promoveu aumentos no conteúdo e no estoque de COT, com alterações tanto no COP quanto no COAM, sendo que a fração COP relacionou-se estreitamente com as adições acumuladas de C via resíduos, as quais foram mais elevadas nas parcelas que receberam calagem. Os PT e PL aumentaram na camada de 0-20 cm com a calagem e, juntamente com os CAQ correlacionaram-se com o COT, e este com o COP e o COAM. O acúmulo de COT promovido pela calagem teve maior impacto na fração mais ativa da MOS, a qual é reflexo da entrada de C via resíduo ao sistema. Nos agregados, a calagem proporcionou acúmulo de COT principalmente na profundidade de 0-2,5 cm. Os tratamentos com calagem apresentaram maiores DMP, o que proporcionou elevado estoque de COT na classe de agregados 8-19 mm. A ampla proporção de agregados grandes nos tratamentos com calagem foi estreitamente correlacionado com o conteúdo de COT da amostra integral. A maior dose de calcário proporcionou aumento de estoque de COT tanto em COP quanto em COAM, visto principalmente na maior classe de agregados. Análise elementar de C e Ca demonstraram correlação positiva dos dois elementos contidos em uma secção da fração argila do centro de agregados de 8-19 mm. Concluí-se com isso, que a calagem superficial em um Latossolo Vermelho, com predominância de caulinita na fração argila, sob SPD consolidado, em região com clima subtropical, traz benefícios à estruturação do solo e promove aumento de C na amostra integral e nos agregados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 27:799-806, 2003.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.

AMARAL, A.S. Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 102p. (Tese de Mestrado)

ANGERS, D.A.; MEHUYS, G.R. Efect of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. Canadian Journal of Soil Science. 69:373-380, 1989.

ANGERS, D.A.; RECOUS, S.; AITA, C. Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of $^{13}C^{15}N$-labeled wheat straw in situ. Eur. J. Soil Sci., 48:295–300, 1997.

BALABANE, M.; PLANTE, A.F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. European Journal of Soil Science 55:415– 427, 2004.

BALDOCK, J.A.; AOYANNA, M.; OADES, J.M.; GRANT, C.D. Structural amelioration of a South Australian red-brown earth using calcium and organic amendments. Aust. J. Soil Res. 32:571–594, 1994.

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. Organic Geochemistry, 31:697–710, 2000.

BARRETO, R.C.; MADARI, B.E.; MADDOCK, J.E.L.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO_2 in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment, 132:243–251, 2009.

BAVER, L.D. The effect of organic matter on soil structure. In: Semaine d'etude sur le theme matiere organique et fertilite du sol. Amsterdam, Pontificia Academia Scientiarum, p.383-404, 1968.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. Soil Till. Res., 53:95-104, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S.C.; MILORI, D.M.B.P.; BAGNATO, V. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. Geoderma, 105:81–92, 2002.

BLAKE, G.R.; HARTAGE, K.H. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Parte 1, 2.ed., Agron. 9, pp. 364–367, 1986.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Coord.). Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p. 9-19. (Boletim Técnico, 4).

BRADY, D.J.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J.; BLAMEY, F.P.C. Calcium amelioration of aluminium toxicity effects on root hair development in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. New Phytol., 123:531–538, 1993.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124:3-22, 2005.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, 54:382-389, 1999.

BRUUN, S.; THOMSEN, I.K.; CHRISTENSEN, B.T.; JENSEN, L.S. In search of stable soil organic carbon fractions: a comparison of methods applied to soils labelled with ^{14}C for 40 days or 40 years. European Journal of Soil Science, 59:247-256, 2008.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. Bragantia, 2:213-220, 2000.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. Agron. J., 97:791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. Sci. Agric, 65:532-540, 2008a.

CAIRES, E.F.; CHUERI, W.Q.; MADRUSA, E.F.; FIGUEREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivos sem preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 22:27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. Sci. Agric., 63:502-509, 2006.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. R. Bras. Ci. Solo, 25:1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. European Journal of Agronomy, 28:57-64, 2008b.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:1071–1076, 1993.

CAMARGO, O.A.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R.; QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um Podzólico com a calagem. Scientia Agricola, 54:1-8, 1997.

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, A.F. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 73p. (Tese de Mestrado)

CASSOL, L.C. Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 98p. (Tese de Mestrado)

CASTRO, C.; LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1407–1413, 1991.

CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M.J.; CASÃO JR., R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. Soil Till. Res., 20:271–283, 1991.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o conteúdo de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIDSON, E.A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o seqüestro de carbono. Boletim Informativo. SCBS, 29:29-34, 2004.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. Effect of lime ($CaCO_3$) application on soil structural stability of a red earth. Aust. J. Soil Res. 36:73–86, 1998.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1841–1844, 1999.

CHENU, C.; PLANTE, A.F.; PUGET, P. Organo-Mineral Relationships. Encyclopedia of Soil Science, 2006.

CHESHIRE, M.V. Nature and Origin of Carbohydrates in Soils, Academic Press, London, 1979.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:1055-1064, 2002.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:317-326, 2004.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *In:* Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. Eds.M. R. Carter & B. A. Stewart. pp 97–165. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL, 1996.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; FERNANDES, D.M.; PERES, M.G.M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. R. Bras. Ci. Solo, 32:1583-1590, 2008.

DERENNE, S.; LARGEAU, C. A review of some important families of refractory macromolecules: Composition, origin, and fate in soils and sediments. Soil Sci. 166:833–847, 2001.

DONTSOVA, K.M.; BIGHAM, J.M. Anionic polysaccharide sorption by clay minerals. Soil Science Society of America Journal, 69:1026-1035, 2005.

DUIKER, S.W.; RHOTON, F.E.; TORRENT, J.; SMECK, N.E.; LAL, R. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 606– 611, 2003.

EDWARDS, A.P.; BREMMER, J.M. Microaggregates in soils. J. Soil Sci. 18:64–73, 1967.

EKENLER, M.; TABATABAI, M.A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. Biology and Fertility of Soils, 39:51–61, 2003.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. Soil Soil Sci. Soc. Am. J. 57:192-194, 1993.

FABRIZZI, K. P.; RICE, C. W.; AMADO, T. J. C.; FIORIN, J.; BARBAGELATA, P.; MELCHIORI, R. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. Biogeochemistry, 92:129–143, 2009.

FELLER, C.; FRANÇOIS, C.; VILLEMIN, G.; PORTAL, J.M.; TOUTAIN, F.; MOREL, J.L. Nature des matières organiques associées auxfractions argileuses d'un sol ferrallitique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 312:1491-1497, 1991.

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

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

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 41:847–853, 2006.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil Till. Res. 66, 95-106, 2002a.

FRANZLUEBBERS, A.J. Water infiltration and soil structure related to organic matter an its stratification with depth. Soil Till. Res., 66:197–205, 2002b.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A.; BAILEY, T. B. Surface residue and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:196–201, 2000.

GHANI, M.O.; HASAN, K.A.; KHAN, F.A. Effect of liming on aggregation, noncapillary pore space, and permeability of a lateritic soil. Soil Sci. 80:469–478, 1955.

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., 35:1231–1243, 2003.

GOODFRIEND, W.L.; OLSEN, M.W.; FRYE, R.J. Soil microfloral and microfaunal response to *Salicornia bigelovii* planting density and soil residue amendment. Plant Soil, 223:23–32, 2000.

GREELAND, D, J.; BOWEN, G.; ESWARAN, H.; RHOADES, R.; VALENTIN, C. Soil, Water, and Nutrient Management Research: A New Agenda. Publ. IBSRAM, Bangkok, Tailândia, 72 p, 1994.

GUGGENBERGER, G.; KAISER, K. Dissolved organic matter in soils. Challenging the paradigm of sorptive preservation. Geoderma 113:293–310, 2003.

HATI, K M.; SWARUP, A.; MISHRA, B.; MANNA, M.C.; WANJARI, R.H.; MANDAL, K.G.; MISRA, A.K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. Geoderma, 148:173–179, 2008.

HAUG, A. Molecular aspects of aluminum toxicity. CRC Crit. Rev. Plant. Sci. 1:345-373, 1983.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil - plant system. Adv. Agron., 37:249-315, 1984.

HAYNES, R.J.; FRANCIS, G.S. Changes in biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. J. Soil Sci., 44:665–675, 1993.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51:123-137, 1998.

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

HELYAR, K.R. Nitrogen cycling and soil acidification. J. Aust. Inst. Agric. Sci., 42:217-221, 1976.

HOUGHTON, R.A.; HOBBIE, J.E.; MELILLO, B.M.; MORE, B. PETERSON, B.J.; SHAVER, G.R.; WOODWELL, G.M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860-1980L A net release of CO_2 to the atmosphere. Ecological Monographs, 53:235-262, 1983.

IAPAR. Médias históricas em estações do IAPAR. Disponível em: http://www.iapar.br/ arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm. Acesso em fev. 2010.

JASTROW, J.D., MILLER, R.M., LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. Soil Biol. Biochem., 30:905-916, 1998.

KAY, B.D. Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 169– 197, 1998.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Science Society of America Journal, 57:200-210, 1993.

KOHL, R.A.; TAYLOR, S.A. Hydrogen bonding between the carbonyl group and wyoming bentonite. Soil Sci., 91:223–227, 1961.

KONONOVA, M. Soil Organic Matter, 2.ed. Pergamon, Oxford, 1966. 404 p.

LAL, R. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 2004, 123:1-22.

LAL, R. Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European ecoregions. Nutr Cycl Agroecosyst. 81:113–127, 2008.

LIU, A.; MA, B.L.; BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. Soil Sci. Soc. Am. J., 69:2041-2048, 2005.

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

LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. Adv. Soil Sci., 2:133–171, 1985.

MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; ANDRADE, A.G.; VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. Soil Till. Res., 80:185-200, 2005.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. Em: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Campinas, Fundação Cargill, p. 3-64, 1985

MALTONI, K.L. Estudo da compactação e, ou, adensamento em subsuperfície de Latossolos sob diferentes usos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 73p. (Tese de Doutorado).

MARTINS, M. R; CORÁ, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage, Soil & Tillage Research 104:22–29, 2009.

MIKHA, M.M.; RICE, C.W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:809–16, 2004.

MUNEER, M.; OADES, J.M. The role of Ca–organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. Aust. J. Soil Res., 27:411–423, 1989.

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.

NEWMAN, A.C.D.; HAYES, M.H.B. Some properties of clays and of other soil colloids and their influences on soils. In: De Boodt, M.F., Hayes, M.H.B. and Herbillon, A. (eds.) Soil colloids and their associations in aggregates. Plenum Press. pp. 39–55, 1990.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. J. Soil Sci., 29:1-16, 1978.

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

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. Soil & Tillage Research, 38:47-57, 1996.

OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura, São Paulo, 28:171-180, 1976.

PAUSTIAN, K., J. SIX, E.T. ELLIOTT, AND H.W. HUNT. Management options for reducing CO_2 emissions from agricultural soils. Biogeochemistry, 48:147–163, 2000.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER , D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76).

PUGET, P.; ANGERS, D.A.; CHENU, C. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. Soil Biol. Biochem., 31:55-63, 1999.

QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, SP : Instituto Agronômico, 2000.

REICOSKY, D.C.; LINDSTRON, N.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. Agronomy Journal, 85:1237-1245, 1993.

RICE, C. W. Carbono orgânico e o ciclo global do Carbono. Tradução de textos publicado no Boletim da Kansas State University. Revista Plantio Direto. 2004

RIDLEY, A. M.; SLATTERY, W. J.; HELYER, K. R.; COWLING, A. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed pasture. Aust. J. Exp. Agr, 30:539–544, 1990.

ROBERT, M.; CHENU, C. Interactions between soil minerals and microorganisms. In Soil Biochemistry, 7, Eds. Bollag, J.M., Stotzky, G., pp. 307-393. Marcel Dekker, New York. 1992.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B.; FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. Rev Bras Ci Solo, 10:163–166, 1986.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. Geoderma, 48:351–361, 1991.

ROTH, C.H. Soil sealing and crusting in tropical South America. In: Sumner ME & Stewart BA (eds) Advances in Soil Science. Soil Crusting - Chemical and Physical Processes, Boca Raton, Lewis Publishers, pp 267–300, 1992.

SÁ, J.C.M. Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

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 a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J, 65:1486–1499, 2001.

SÁ, J.C.M.; SÁ, M.F.M.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, A.O. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. 2 ed. Porto Alegre, RS: Metropole, v. 01, p. 443-462, 2008.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Till. Res, 104:56–64, 2009.

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

SALL, J.; CREIGHTON, L.; LEHMAN, A. JMP start statistics: a guide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. 3.ed. Cary: Duxbury Press, 2005. 580p.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. R. Bras. Ci. Solo, 21:113-117, 1997.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 63:1350–1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biol. Biochem., 32: 2099–2103, 2000.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant Soil, 241:155–176, 2002a.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEF, K.; OGLE, S.M.; SA, J.C.M. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage. Agronomie, 22:755–775, 2002b.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil Till. Res., 79:7-31, 2004.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIET, R.K.; BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contributions to C-sequestration in agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J., 70:555-569, 2006.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. Geoderma 74:65–105, 1996.

SPARLING, G.; VOJVODIC-VUKOVIC, M.; SCHIPPER, L.A. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 30:1469-1472, 1998.

SPARKS, D.L. Environmental soil chemistry. 2.ed. Amsterdam: Academic Press, 2003, 352p.

STEVENSON, F.J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: J. Wiley, 1986. 380p.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, J. Wiley, 1994. 496p.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1254–1258, 1986.

TANG, C.; RENGEL, Z.; DIATLOFF, E.; GAZEY, C. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. Field Crops Res., 80:235–244, 2003.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, 33:141-163, 1982.

TISDALL, J.M. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (Eds.), Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 57–96, 1996.

VALVERDE, S.R.; MATTOS, A.D.M.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, M.L.; NEIVA, S.A. Oportunidades do mercado de CO_2. Boletim Informativo. SCBS, 29:34-37, 2004.

VAN WAMBEKE, A. Formation, distribution and consequences of acid soils in agricultural development. In: Proceedings of Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Wright, M.J. and S.A. Ferrari (eds.). Spec. Publ. Cornell Univ., Agric. Exp. Stn., Ithaca, NY. pp. 15-24, 1976.

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado)

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil Till. Res., 96:195-2004, 2007.

VON UEXKÜLL, H.R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. Plant and Soil 171:1-15, 1995.

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.

WATTEL-KOEKKOEK, E.J.W.; VAN GENUCHTEN, P.P.L.; BUURMAN, P.; VAN LAGEN, B. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. Geoderma, 99:27–49, 2001.

WUDDIVIRA, M. N.; CAMPS-ROACH, G. Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. European Journal of Soil Science, 58:722–727, 2007.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo