

EFEITO DA CALAGEM NO ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM SISTEMA SEMEADURA DIRETA

Tiara Moraes Guimarães¹; Antonio Carlos de Almeida Carmeis Filho¹ e Claudio Hideo Martins da Costa¹

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP. Faculdade de Ciências Agronômica. Departamento de Produção Vegetal. Fazenda Experimental Lageado - Caixa Postal 237, Rua José Barbosa de Barros, nº. 1780, Botucatu – SP. CEP: 18610-307. E-mail: tiguimaraes@hotmail.com, tonycarmeis@hotmail.com, c_hideo@hotmail.com

RESUMO: A intensa degradação dos solos agrícolas tem despertado preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. Dos indicadores da qualidade do solo, destaca-se o teor de carbono orgânico (CO), pois relaciona-se sensivelmente com os atributos do solo, além de ser muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais, onde as condições edafoclimáticas favorecem as perdas de carbono através da decomposição microbiana dos resíduos e da magnitude dos processos erosivos. Entre os principais fatores que limitam o acúmulo de CO, destaca-se a acidez do solo, a toxidez por alumínio e a deficiência de elementos nutricionais, condições predominantes em solos de clima tropical, que geralmente são ácidos. A calagem é considerada uma medida eficiente em resolver os problemas relacionados à acidez, toxidez por alumínio, baixos teores de cálcio e magnésio e a baixa disponibilidade de nutrientes como o fósforo, influenciando indiretamente nas propriedades físicas do solo e contribuindo para maior estabilização dos agregados que protegem o CO da oxidação microbiana. Assim, à calagem associada a manejos conservacionistas, trazem benefícios aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, favorecendo aspectos relacionados à fertilidade do solo e exercendo impacto ambiental positivo por atuar no sequestro de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: manejo conservacionista, carbono orgânico, calcário.

EFFECT OF LIMESTONE IN SOIL CARBON STOCK IN NO-TILLAGE

ABSTRACT: The intensive degradation of agricultural land has aroused concern over soil quality and the sustainability of the agricultural holding. Indicators of soil quality, stands out the organic carbon content (OC) as relates significantly to the soil attributes, and is very sensitive to management practices, especially in tropical regions, where soil and climatic conditions favor the carbon losses through microbial decomposition of plant residues and the erosion processes. Among the main factors limiting the OC accumulation stands out the soil acidity, the toxicity of aluminum and the nutrients deficiency, prevailing conditions in tropical soils, which are generally acids. Liming is considered an effective method to solve the problems related to acidity, toxicity of aluminum, low phosphorus, calcium and magnesium availability, indirectly influencing the soil physical properties and contributing to greater stabilization of aggregates wich protects the OC from microbial oxidation. Thus, liming associated with conservation managements, bring benefits to soil chemical, physical and biological, favoring issues related to soil fertility and exerting positive environmental impact by acting on carbon sequestration.

KEY WORDS: conservation management, organic carbono, limestone

INTRODUÇÃO

A intensa degradação dos solos agrícolas no mundo, principalmente nos países de clima tropical, tem despertado a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. Diante disso, a ciência tem buscado indicadores que expressem a intensidade desses processos degradativos, o que permite o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo.

Dentre os diversos indicadores relacionados à qualidade do solo, o teor de carbono orgânico (CO) destaca-se entre os principais, visto que este componente relaciona-se sensivelmente com os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos. Embora se destaque pela interação com as propriedades químicas, este indicador está muito relacionado aos fatores físicos e biológicos do solo, principalmente por sua estreita relação com a estrutura e estabilidade de agregados do solo, e de ser importante fonte de energia para os organismos.

O teor de CO é considerado um componente muito sensível em relação às práticas de manejo agrícola, principalmente nas regiões tropicais, onde as condições edafoclimáticas favorecem as perdas de carbono (C) através da decomposição microbiana dos resíduos e da magnitude dos processos erosivos, porém, a intensidade destes depende direta ou indiretamente do manejo empregado.

Os manejos conservacionistas, como o plantio direto, consistem em uma das mais eficientes alternativas para sequestrar C em sistemas agrícolas tropicais. O potencial de dreno de C no plantio direto está intimamente relacionado com a redução das perdas de dióxido de carbono (CO₂) via decomposição da matéria orgânica, economia de combustíveis fósseis, possibilidade de redução do uso de insumos externos, controle dos processos erosivos e, principalmente, pela maior produção e acúmulo de biomassa vegetal.

Entre os principais fatores que limitam a produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, o acúmulo de CO, destaca-se o nível de acidez do solo, a toxidez por alumínio (Al³⁺) e a deficiência de elementos nutricionais. Estas condições ocorrem predominantemente em solos de clima tropical, os quais geralmente são ácidos. Diante disso, torna-se extremamente necessário a adoção de práticas agrícolas que visam à melhoria das propriedades químicas desses solos.

A calagem é considerada uma das medidas mais eficientes em resolver os problemas relacionados à acidez, toxidez do Al³⁺ trocável, baixos teores de cálcio e magnésio e a baixa disponibilidade de nutrientes como o fósforo. Além disso, a aplicação do calcário pode

influenciar indiretamente nas propriedades físicas do solo, contribuindo indiretamente, para maior estabilização dos agregados que protegem o CO da oxidação microbiana.

A melhoria da fertilidade do solo e a adoção de boas práticas de manejo são consideradas fatores chave para o aumento da produção de cultivos, resultando em maior retorno de resíduos culturais e acúmulo de CO no sistema de produção agrícola.

SISTEMA SEMEADURA DIRETA (SSD)

A introdução do SSD, a partir da década de 70 (Lopes et al., 2004) no sul do Brasil, foi um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira. Desde então, a área cultivada sob esse sistema tem aumentado de forma expressiva, tanto que, para a cultura da soja aproximadamente 97% das propriedades rurais utilizam o SSD (Bastos et al., 2007).

O progresso da área cultivada sob SSD traz reflexo positivo em vários setores da atividade agrícola nacional, principalmente na conservação dos recursos ambientais, como água e solo, sendo considerado o grande responsável pela continuidade da exploração agrícola dos solos brasileiros que, em geral, são altamente intemperizados.

Para a exploração agrícola sustentável em SSD é preconizado o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura (Amaral et al., 2004a). Somado a isso, é necessária a manutenção dos restos culturais sobre a superfície durante o ano, o que promove maior proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, favorece a infiltração, reduz as perdas de água, por escoamento superficial, as perdas de solo e de nutrientes por erosão (Wutke et al., 1993; Hernani et al., 1999), bem como diminui a amplitude de variação das temperaturas do solo ao longo do dia e da noite.

Um dos maiores problemas dos solos tropicais brasileiros é a acidez, tanto em superfície quanto em subsuperfície, e as recomendações de correção da acidez e o manejo da fertilidade no SSD têm sido realizados a partir dos conhecimentos obtidos no sistema convencional de preparo do solo (SPC). No entanto, segundo Caires et al. (1999), os conhecimentos relacionados à fertilidade do solo no SSD nem sempre são os mesmos aplicados no SPC, uma vez que neste há a incorporação dos corretivos de solo, adubos e resíduos vegetais. Porém, as informações sobre o manejo das culturas e a fertilidade do solo ainda não estão bem definidas para o SSD. Portanto, há a necessidade de estudos que satisfaçam todos os questionamentos relacionados à correção da acidez do perfil do solo, partindo de uma aplicação superficial. Além disso, existe grande interesse na busca de alternativas para a implantação e manutenção do SSD, sem incorporação prévia do corretivo,

não havendo necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento do sistema (Caires et al., 2000, Petreire e Anghinoni, 2001; Soratto e Crusciol, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e). Isso ganha maior importância quando da implantação da integração lavoura-pecuária em SSD, notadamente em pastagens não degradadas fisicamente, ou seja, sem impedimentos físicos, como trieiros e camadas compactadas, para a adequada implantação das culturas.

INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA QUALIDADE DO SOLO

O SSD é sem dúvida um dos principais sistemas de cultivo conservacionistas mais adotados e difundidos no Brasil. Além de preconizar o mínimo revolvimento do solo, um dos principais requisitos básicos deste novo sistema de produção agrícola é a adição de resíduos vegetais na superfície do solo. A associação destes princípios desencadeiam diversos processos físicos, químicos e biológicos fortemente inter-relacionados, que contribuem para o aumento de um dos constituintes mais importantes dos solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica (Kluthcouski et al., 2000).

O incremento nos estoques de matéria orgânica observado no sistema SSD, pode potencializar os efeitos da calagem no aumento do potencial hidrogeniônico (pH) e na precipitação do Al^{3+} trocável (Miyazawa et al., 1993; Oliveira et al., 2000). Resultados obtidos por Garbui et al. (2011) confirmam o efeito positivo dos constituintes orgânicos nas propriedades químicas do solo. Os autores evidenciaram que a adição de resíduos orgânicos no sistema de produção contribui para aumentar a eficiência da calagem, principalmente em relação à precipitação do Al^{3+} . Além de exercer papel fundamental no pH do solo e na complexação de elementos tóxicos as plantas, o teor de matéria orgânica também apresenta importância preponderante na capacidade de troca catiônica (CTC) (Bayer e Mielniczuk, 2008).

Os componentes dos solos que apresentam a propriedade de troca de cátions geralmente são classificados de acordo com a sua natureza, em orgânicos, inorgânicos e minerais (Raij, 1969). Em regiões de clima tropical e subtropical, a grande maioria dos solos, apresentam predominantemente minerais de argila de baixa atividade, representados pelos filossilicatos do tipo 1:1 (caulinita) e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Essas partículas coloidais são caracterizadas principalmente como dependente de pH, ou seja, podem dar origem a cargas eletropositivas ou eletronegativas, dependendo do pH do solo.

Porém, destaca-se que esses minerais possuem alto ponto de carga zero (PCZ), o que reflete em uma CTC baixa, da ordem de 30 a 150 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Novais e Mello, 2007).

Além dos constituintes minerais, a CTC de um solo também é altamente dependente da presença dos constituintes orgânicos humificados. Estes são formados a partir da decomposição química e biológica dos materiais orgânicos adicionados ao solo (McBride, 1994). A presença de grande quantidade de cargas na superfície específica destes coloides (1500 a 4000 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) associados ao baixo PCZ destes constituintes, fazem com que apresentem importância fundamental na CTC dos solos tropicais de baixa densidade de cargas na fração mineral. Apesar de representar na maioria dos casos menos de 5% da massa total de sólidos do solo, a matéria orgânica é responsável por no mínimo 70% da CTC de solos tropicais, ou seja, representa grande importância na determinação da carga líquida eletronegativa e, portanto, exerce grande influência na retenção de nutrientes para as plantas (Vezzani et al., 2008). Franchini et al. (2001) demonstram que os ligantes orgânicos hidrossolúveis com grupos funcionais hidroxílicos (CO^-) e carboxílicos (COO^-) presentes na matéria orgânica, são os principais responsáveis por aumentar a CTC em solos com alto grau de intemperismo. Diante disso, diversos resultados demonstram haver correlação linear positiva entre o conteúdo de matéria orgânica e os atributos relacionados às propriedades químicas do solo (Bayer e Bertol, 1999; Sá e Lal, 2009; Santos et al., 2009; Briedis et al., 2012b).

Ao promover o aumento da CTC dependente de pH, a matéria orgânica beneficia a adsorção de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) mediante trocas com o H^+ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases no complexo coloidal. O SSD por reduzir a velocidade de oxidação da matéria orgânica, contribui indiretamente para o aumento do complexo catiônico, o que reflete na melhoria da fertilidade dos solos (Fontana et al., 2006). Avaliando a influência de diferentes sistemas de manejo na CTC da camada superficial do solo (0-10 cm), Costa et al. (2006) constataram que a CTC é mais alta no solo sob SSD (119 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), em comparação com o sistema convencional (104 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), o que indica que o maior aporte de resíduos vegetais sobre o solo está contribuindo diferencialmente para o aumento da CTC nesse sistema. Segundo Ciotta et al. (2003) após 21 anos da adoção do SSD em solo argiloso e com mineralogia oxidica, o acúmulo de matéria orgânica também promoveu um aumento expressivo na CTC do solo, fundamental neste solo com predominância de minerais de baixa atividade na fração argila. Bayer e Bertol (1999) avaliaram o efeito da utilização do SPC e SSD, desenvolvidos durante nove anos, sobre as

características químicas de um Cambissolo Húmico hálico, com ênfase à matéria orgânica. Os autores concluíram que o SSD resultou em aumento nos conteúdos de CO e N no solo, em relação ao SPC. Além disso, os autores destacaram que a CTC efetiva correlaciona-se significativamente com o teor de CO e com o pH do solo.

O CO apresenta um papel fundamental na determinação da carga líquida eletronegativa dos solos e, ou seja, reflete diretamente no estoque de nutrientes para as plantas. Ao avaliarem 30 diferentes tipos de solos do Estado de São Paulo, Soares e Alleoni (2008), evidenciaram contribuição do CO na CTC de $1640 \text{ mmolc kg}^{-1}$, a qual foi 44 vezes superior à contribuição da fração argila (40 mmolc kg^{-1}). Resultados semelhantes foram apresentados por Klamt e Reeuwijk (2000), os autores demonstraram haver alta correlação entre o CO e a CTC do solo, indicando que as propriedades de trocas estão relacionadas principalmente ao CO e ao conteúdo de argila dos solos. Como a matéria orgânica exerce papel fundamental na determinação da carga líquida eletronegativa dos solos e, portanto, na retenção de nutrientes para as plantas, práticas agrícolas que mantenham ou elevem os teores desta fração no solo são de extrema importância (Fontana et al., 2006).

Além de beneficiar as propriedades químicas do solo, a matéria orgânica também exerce efeito direto na estabilidade da estrutura do solo, considerada como a principal característica física. Roth et al. (1991) observaram correlação significativa entre o teor de matéria orgânica e o índice de estabilidade de agregados. Este fato é justificado pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes, o que está de acordo com o mecanismo proposto por Edwards e Bremner (1967). É importante ressaltar que polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano, da exsudação radicular e da decomposição de resíduos orgânicos também são considerados importantes agentes estabilizadores de agregados (Oades, 1984; Robert e Chenu, 1992). Os polissacarídeos e as hifas de fungos destacam-se como os componentes mais importantes em relação à estabilidade dos macroagregados, formados a partir da união dos microagregados (Mielniczuk, 1999). A partir do efeito da matéria orgânica sobre o processo de estruturação do solo, indiretamente são afetados os demais atributos físicos do solo, como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e infiltração de água, entre outras, que são fundamentais em minimizar e reduzir os processos que geram a degradação do solo (Cardoso et al., 1992; Mielniczuk, 1999).

Diversos resultados demonstram haver correlação linear positiva entre a estabilidade de agregados e o acúmulo de matéria orgânica no solo (Oliveira et al., 2003; Bronick e Lal,

2005; Wendling et al., 2005; Briedis et al., 2012b). No entanto, o grau de correlação entre a matéria orgânica e agregação depende do clima, tipo de solo, textura e mineralogia. Solos com elevado teor de argila, normalmente, necessitam de maiores teores de matéria orgânica para manterem certo nível de estruturação (Douglas e Goss, 1982).

De acordo com a teoria de hierarquização, os agregados podem ser classificados em cinco grupos quanto ao tamanho: $< 2 \mu\text{m}$; de 2 a $20 \mu\text{m}$; de 20 a $250 \mu\text{m}$; de $250 \mu\text{m}$ a 2 mm; e $> 2 \text{ mm}$. Os menores que $250 \mu\text{m}$ são denominados microagregados e os maiores constituem os macroagregados, sendo cada agregado formado pela união dos agregados da classe que vem logo abaixo, estabelecendo, assim, uma ordem hierárquica (Tisdall e Oades, 1982).

Resultados obtidos Castro Filho et al. (1998), demonstram que o teor de CO resultou em aumento dos índices de agregação pela diminuição da classe de menor diâmetro ($< 250 \mu\text{m}$) e aumento das classes de diâmetro maior ($> 250 \mu\text{m}$). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Garcia e Rosolem (2010), os autores observaram estreita relação entre a estabilidade dos agregados e o teor de CO total do solo. Segundo os mesmos, a maior produção de massa de matéria seca e o maior desenvolvimento radicular de espécies de cobertura proporcionou aumento na percentagem de agregados maiores que 2 mm (macroagregados).

Verificando a estabilidade dos agregados em função de dois sistemas de manejo (SSD e Sistema Convencional), Castro Filho et al. (1998) evidenciaram que pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, o SSD melhorou o estado de agregação graças ao incremento do CO total, independentemente do programa de sucessão de culturas adotado. Também avaliando o efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados em água de Latossolo Vermelho-Amarelo no Mato Grosso, Corrêa (2002) evidenciou que o maior fracionamento de agregados ocorreu nas áreas preparadas com grade aradora e niveladora e a maior estabilidade de agregados foi observada na semeadura direta sobre a palhada de milho.

Diante dos resultados apresentados, conclui-se a adoção de sistemas de cultivo, que promovam incremento nos teores de CO no solo, pode contribuir consideravelmente para o aumento da estabilidade de agregados e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade física do solo. Além disso, diversos autores citam a importância de sistemas de manejo do solo que visam o menor tráfego de máquinas e o mínimo revolvimento do solo como o SSD (Campos et al., 1995; Bertol et al., 2004; Lovato et al., 2004; Argenton et al., 2005). Devido ao menor teor de resíduos culturais e o revolvimento destes, os sistemas convencionais

reduzem os agregados na camada arável e aceleram a decomposição dos resíduos orgânicos, refletindo negativamente o acúmulo de CO e a estabilidade dos agregados (Carneiro et al., 2009). Como a microbiota do solo é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (Trannin et al., 2007).

A biomassa microbiana constitui a maior fração ativa da matéria orgânica do solo e, portanto, está diretamente relacionada com os componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de CO. Além desses aspectos, representa uma reserva considerável de nutrientes, os quais são continuamente assimilados durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema (Gregorich et al., 1994).

Diante destas informações a matéria orgânica é o componente do solo mais complexo, dinâmico e reativo, pois afeta as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos. Ela é considerada um dos principais indicadores de qualidade do solo, pois sua interação com diversos componentes do solo exerce efeito direto na CTC, formação de agregados, densidade do solo, mineralização de nutrientes, infiltração, aeração, quelação de metais e atividade microbiana (Stevenson, 1994).

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SSD

A matéria orgânica no solo é caracterizada como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pelo aporte de resíduos orgânicos. Segundo Stevenson (1984), a matéria orgânica pode ser dividida em duas frações: viva e não viva. A fração correspondente à matéria orgânica viva constitui somente cerca de 5% do CO do solo, e pode ser subdividida em três frações: raízes de plantas (5-10%), macrofauna do solo (15-30%) e biomassa microbiana (60-80%). Por outro lado, a matéria orgânica não viva constitui cerca de 95% do CO do solo, e pode ser subdividida em matéria orgânica leve, compostos orgânicos dissolvidos e a matéria orgânica estabilizada no solo (húmus).

O C é considerado um dos principais elementos componentes da matéria orgânica do solo (58%) e os seus estoques irão variar principalmente em função das taxas de adição, por meio do processo fotossintético realizado pelos vegetais, e as perdas de C decorrentes dos processos erosivos e da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo (Costa et al., 2008).

O balanço de CO em solos agrícolas assim como a ciclagem de compostos orgânicos são amplamente condicionados pelos fatores edafoclimáticos e pelas práticas de manejo. Solos manejados indevidamente favorecem o processo de decomposição da matéria orgânica e podem comportar-se como fonte de C para atmosfera sob a forma de CO₂. Estima-se que o total de perda de C advindo da matéria orgânica do solo, desde o início da agricultura seja em torno de 79 Pg de C (1Pg = 10⁹ toneladas) (Lal, 2004).

Os sistemas de manejo que adotam processos mecânicos de revolvimento do solo, como o sistema convencional, interfere diretamente a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, pois quanto maior a intensidade de revolvimento do solo, maior será o fracionamento dos agregados que conferem proteção física da matéria orgânica. Destaca-se que a quebra dos agregados favorece o contato direto da biomassa microbiana com o material orgânico, ou seja, acelera a taxa de decomposição dos constituintes orgânicos.

Em sistemas conservacionistas, a manutenção de cobertura sob a superfície do solo, principalmente nos períodos de maior precipitação pluvial e temperaturas elevadas, servem para reduzir a taxa de decomposição da matéria orgânica pelos agentes decompositores, além de contribuir para a manutenção dos estoques de C do solo (Silva e Mendonça, 2007; Bayer e Mielniczuk, 2008). Resultados apresentados por Cerri et al. (2004) demonstram que a manutenção de uma camada de resíduos na superfície do solo permite o sequestro de 1,5 Mt C ano⁻¹.

Diversos resultados demonstram que o SSD tem levado a menores perdas totais de C, pela sua eficácia no controle da erosão e dos processos oxidativos, refletindo em menores taxas de decomposição anual da matéria orgânica do solo, em relação ao manejo convencional (Bayer, 1996). O acúmulo de matéria orgânica em Latossolos da Região do Cerrado sob SSD foi observado por Bayer et al. (2004). Em comparação ao sistema de convencional, o SSD com culturas estivais promoveu um aumento de 4% a 43% no teor de CO ao longo da camada de 0–20 cm. Bayer (1996) também verificou uma diminuição praticamente pela metade da taxa de decomposição da matéria orgânica no solo em SSD em comparação ao sistema de preparo convencional, com reflexos positivos no aumento dos estoques de C. Ciotta et al. (2003) também demonstraram o acúmulo superior de C em solo sob SSD (73,20 Mg C ha⁻¹), em comparação solo sob sistema convencional (70,57 Mg C ha⁻¹). Os resultados apresentados demonstram que no sistema convencional a decomposição da matéria orgânica é mais intensa, ou seja, o sistema atua como uma fonte de C para atmosfera, enquanto que o solo em SSD passa a atuar como um dreno de C.

CALCÁRIO COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO EM SSD

A acidez excessiva é um dos principais fatores limitantes a produção agrícola mundial. A queda no rendimento das culturas comerciais, no decorrer dos cultivos, tem sido um motivo de preocupação constante para os agricultores. Segundo Quaggio(2000), aproximadamente 70% dos solos do Brasil são solos ácidos, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40%.

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à constituição do material de origem, ou podem tornar-se ácidos pelos processos de formação que favorecem a remoção ou lavagem de elementos básicos. Em regiões em que a precipitação pluvial é maior que a evapotranspiração, favorece à remoção de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) no complexo sortivo do solo, o que proporciona maiores concentrações de Al^{3+} e H^{+} na solução do solo (Fageria e Gheyi, 1999). Destaca-se que altos níveis de elementos tóxicos como o Al^{3+} e a baixa disponibilidade de macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) são os principais fatores gerados pela condição de acidez e são os que mais têm limitado a produtividade das culturas agrícolas no Brasil e no mundo (Jackson, 1967).

A presença de alumínio tóxico em níveis elevados provoca menor crescimento e engrossamento das raízes (Taylor, 1988). Com isso, o sistema radicular limita-se a explorar uma menor área de solo, o que ocasiona uma menor absorção de nutrientes e água. De maneira geral, o efeito fitotóxico do alumínio em solução ocorre em solos com pH em água abaixo de 5,5. À medida que o pH do solo diminui aumenta a atividade do alumínio no solo e, conseqüentemente, ocorre potencialização dos efeitos nocivos e deletérios às culturas.

Dentre as práticas agrícolas utilizadas para corrigir os problemas gerados pela acidez excessiva do solo, uma das mais adotadas e difundidas é a calagem. Quando empregado de maneira correta e adequada, o calcário reduz a acidez, aumenta os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e neutraliza a toxidez provocadas pelo Al e Mn, assegurando o aproveitamento dos nutrientes, uma vez que favorece o desenvolvimento do sistema radicular. Essas vantagens vêm refletindo uma maior produtividade e maior rentabilidade econômica (Nicolodi et al., 2008; Castro e Crusciol, 2013).

Em SSD, o calcário é aplicado em superfície, sem que ocorra o revolvimento do solo, o que promove a manutenção de agregados e evita a exposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Caires et al., 2006a). Por se tratar de um produto de baixa solubilidade e mobilidade restrita, a ação da calagem normalmente fica restrita às camadas superficiais do solo (Caires et

al., 1998). Dentre os fatores que podem contribuir para a movimentação do calcário e dos produtos de sua reação do SSD, destaca-se a preservação das propriedades físicas do solo (Rheinheimer et. al., 2000; Costa e Rosolem, 2007; Caires, 2010; Gonçalves et al., 2011; Caires et al., 2011). Segundo Amaral et al. (2004), o deslocamento descendente de partículas de calcário para as camadas inferiores é favorecido pela maior estabilização dos agregados decorrente do maior volume de bioporos formados pela decomposição de raízes e mesofauna do solo, mantidos intactos em razão do não revolvimento.

Contudo, a calagem eleva a atividade microbiana, ao elevar o pH do solo (Ekenler e Tabatabai, 2003; Mijangos et al., 2010), podendo promover, a curto prazo, a decomposição mais acelerada da MOS (Yao et al., 2009). No entanto, segundo Ridley et al. (1990) e Hati et al. (2008), em longo prazo, a dinâmica da MOS em relação à calagem pode ser diferente, em razão dos efeitos indiretos relacionados à maior produção de fitomassa por área, atribuídos a melhorias nas condições edáficas e, principalmente, em razão da neutralização do Al^{3+} . Entretanto, sua influência nos estoques de MOS será dependente do balanço do seu efeito na oxidação microbiana do C orgânico do solo e na adição de resíduos vegetais pelas culturas (Bayer e Mielnickuk, 1999).

INFLUÊNCIA DA CALAGEM NO ACÚMULO DE CARBONO

A calagem é uma das práticas agrícolas essenciais para solos tropicais, pois tem como fundamento elevar o pH do solo, neutralizar a toxidez causada pelo Al^{3+} e Mn^{2+} trocáveis, elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentar a disponibilidade de nutrientes como o P e o Mo, e conseqüentemente, melhora a eficiência dos fertilizantes. Assim, a calagem pode promover grande incremento no desenvolvimento de raízes e biomassa aérea, promovendo maior retorno de C ao solo na forma de resíduos (Haynes, 1984) o que pode favorecer a fixação do CO_2 da atmosfera no solo.

Resultados relatados por Briedis et al. (2012a) fornecem suporte para uma associação entre o teor de CO e a aplicação de calcário. Briedis et al. (2012b) evidenciaram que a calagem, em SSD, pode promover aumento no conteúdo de CO no perfil do solo com ganho até a camada de 10-20 cm. Os autores evidenciaram que o aumento na saturação por bases e o decréscimo na saturação por Al^{3+} trocável foram os principais fenômenos responsáveis pelo acúmulo de CO durante os 15 anos de experimentação.

A neutralização de efeitos tóxicos provocados pelo Al^{3+} trocável, a maior disponibilidade de P e o aumento de bases trocáveis proporcionados pela calagem favorecem

o crescimento e desenvolvimento das plantas, portanto, favorece o acúmulo no conteúdo de carbono orgânico no solo, que é justificado pelo maior retorno de resíduos culturais no sistema agrícola (Castro e Crusciol, 2013). Em experimento de longa duração em solos com predominância de minerais de argila de baixa atividade (caulinita e ilita), Haiti et al. (2008) também demonstraram que a aplicação de calcário promoveu aumento significativo no carbono orgânico, porém esses efeitos foram observados somente a longo prazo. Os resultados obtidos pelos autores também demonstraram que a prática da calagem favorece o incremento de carbono orgânico através do maior aporte de resíduos culturais ao sistema produtivo.

Diante das suspeitas relatadas acima, a prática da calagem pode favorecer tanto o aumento da CTC pela elevação do pH, quanto pelo aumento de C no perfil do solo, que contribuiu para uma maior dissociação dos grupos funcionais da argila e da matéria orgânica acumulada (Briedis et al., 2012b).

O acúmulo de carbono na biomassa microbiana também pode aumentar em decorrência da calagem. A atividade dos microorganismos é intensificada pelo o aumento do pH, pela adição de Ca e Mg, e principalmente pelo maior retorno dos resíduos culturais ao solo, cuja magnitude do efeito é potencializada pelas condições mais favoráveis de umidade e temperatura do solo em SSD (Costa et al., 2004). De acordo com Nahas et al. (1997), o Ca, fornecido pela calagem, é considerado como um dos principais componentes essenciais dos microorganismos e como tal pode influenciar o crescimento e a atividade da população microbiana. Além disso, a maior produção vegetal, favorecida pela calagem, acarreta um aumento da atividade rizosférica, ou seja, favorece a exsudação de substâncias orgânicas, que adicionadas ao solo influenciam de forma indireta o crescimento microbiano, refletindo no balanço de C.

O cálcio, proveniente da calagem, também pode ser um elemento crucial para a estabilização dos agregados do solo, através do seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica através de ponte catiônica (Bronick e Lal, 2005). Sendo que a biomassa microbiana também constitui um importante agente de agregação do solo sendo que a maior atividade microbiológica, favorecida pela calagem, relaciona-se com a produção de polissacarídeos, que são agentes cimentantes de extrema importância na agregação do solo, principalmente em se tratando de macroagregados (Tisdall e Oades, 1982).

A interação dos constituintes orgânicos com os componentes minerais favorece a estabilidade da matéria orgânica à decomposição microbiana. Portanto, segundo Briedis et al.

(2012a), a formação e estabilização de agregados no solo e o acúmulo de CO andam de forma paralela, ou seja, o aumento de um promove benefícios ao outro e vice-versa. Os autores destacaram que o processo de agregação das partículas sólidas dificulta a oxidação da matéria orgânica pelos microorganismos, portanto, exerce uma proteção física do CO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de práticas agrícolas como a calagem, de forma adequada, associadas a sistemas de manejos conservacionistas, trazem benefícios aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, constituindo-se práticas que, além de favorecer os aspectos relacionados à fertilidade do solo, também exerce impacto ambiental positivo por atuar no sequestro de C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 115-123, 2004.

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p. 425-435, 2005.

BASTOS, F.G. et al. **Uma avaliação do plantio direto no Brasil**. Disponível em: <www.agrisus.org.br/arquivos/rally_safra_07_avaliao_PD.pdf> . Acesso em: 20 mai. 2015.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.687-694, 1999.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Genesis, Porto Alegre, 1999, p.9-39.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (2ªEd.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre, Metrópole, 2008, p.7-18.

BAYER, C. Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa para atmosfera. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 15., 2004, Santa Maria. Palestras. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; FERREIRA, A.O.; QUADROS NETO, C.; CANALLI, L.B.; SANTOS, J.B. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under long-term no-till. **Geoderma**, Amsterdam, v.170, p.80-88, 2012a.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; FERREIRA, A.O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.1007-1014, 2012b.

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

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. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.791-798, 2005.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D. A. FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.161-169, 2000a.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.89, p. 3-12, 2006a.

CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.315-327, 1999.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F.; JORIS, A.W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v.27, p.45-53, 2011.

CAIRES, E.F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010, v.1, p.281-338.

CAIRES, E.F.; PEREIRA FILHO, P.R.S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, Oxford, v.24, p. 302-309, 2008.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.121-126, 1995.

CARNEIRO et al. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, p.5-10, 2009.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v.195, p.234-242, 2013.

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 cultura e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIDSON, E.A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o sequestro do carbono. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo**, Viçosa, v.29, 6p., 2004.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 317-326, 2004.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de baixa atividade sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.1161-1164, 2003.

CORREIA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.203-209, 2002.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.97, p.207-217, 2007.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1185-1191, 2006.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.587-589, 2004.

DOUGLAS, J.T.; GOSS, M.J. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.2, p.155-175, 1982.

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, p.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**, Florença, v.39, p.51-61, 2003.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Efficient crop production**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 548 p.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.847-853, 2006.

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.357-360, 2001.

GARBUIO, F.J.; JONES, D.L.; ALLEONI, L.R.F.; MURPHY, D.V.; CAIRES, E.F. Carbon and nitrogen dynamics in the Oxisol as affected by liming and crop residues under no-till. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.75, p.1723-1730, 2011.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.1489-1498, 2010.

GONÇALVES, J.R.P.; MOREIRA, A.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; VILLAS BOAS, R.L. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, p.369-375, 2011.

GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, p.367-385, 1994.

HAITI, 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**, Amsterdam, v.148, p.173-179, 2008.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, Oxford, v.37, p.249-315, 1984.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.145-154, 1999.

JACKSON, W.A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R. W., ADAMS, F. (eds). **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, p.43-124, 1967.

KLAMT, E.; REEUWIJK, L.P.V. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of ferralsols and related soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.573-587, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L.P.; OLIVEIRA, I.P.; COSTA, J.L.S.; SILVA, J.G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A.O.; MAGNABOSCO, C.U. **Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas de plantio direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28p. (Circular Técnica /Embrapa Arroz e Feijão).

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Madison, v.304, p.1623-1627, 2004.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.

MIJANGOS, I.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; AMEZAGA, I.; MENDARTE, S.; GARBISU, C. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **Journal of Environmental Management**, Londres, v.91, p.2066-2074, 2010.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.411-416, 1993.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais** (Ed.). Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.

NAHAS, E.; DELFINO, J.H.; ASSIS, L.C. Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo resultantes da aplicação de gesso agrícola na cultura do repolho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, p.160-166, 1997.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para a recomendação da calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.237-247, 2008.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.133-204.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, p.319–337, 1984.

OLIVEIRA, I.P.; CUNHA, R.; SANTOS, R.S.M.; FARIA, C.D.; CUNHA, G.F. Efeito da correção da fertilidade do solo no desenvolvimento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Latossolo com diferentes históricos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, p.57-64, 2000.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.291-299, 2003.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.885-895, 2001.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e Calagem em Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral dos solos. **Bragantia**, Campinas, v.28, p.85-112, 1969.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. & BORTOLUZZI, E.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.797-805, 2000.

RIDLEY, A.M.; SLATTERY, W.J.; HELYER, K.R.; COWLING, A. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood v.30, p.529-537, 1990.

ROBERT, M., CHENU, C. Interactions between soil minerals and microorganisms. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), **Soil Biochemistry**. Marcel Dekker: New York, 1992. p. 307–393.

ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.241-248, 1991.

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 and Tillage Research**, Amsterdam, v.103, p.46-56, 2009.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; SÁ, M.F.M.; FERREIRA, A.O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. 462 p.

SANTOS, V.R.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, C.G.; SANTOS, M.A.L.; CUNHA, J.L.X.L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, p.27-36, 2009.

SILVA, R.I.; MENDONÇA, S.A. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, F.R.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 6, p.275-374.

SOARES, M.R.; ALLEONI, L.R.F. Contribution of soil organic carbon to the ion exchange capacity of tropical soils. **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton v.32, p.439-462, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.675-688, 2008a.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.81-90, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, p.261-270, 2008b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.663-673, 2008c.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.715-725, 2008d.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n. 4, p.928-935, 2008e.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: Genesis, composition, reactions. 2. ed. Nova York: J. Wiley & Sons, 1994. 496p.

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

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio-sólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1173-1184, 2007.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELO, N.A.; DIECKOW, J. In: SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais** (Ed.). Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

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

WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. **Curso de adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. 89 p.

YAO X., J. CHU and G. WANG. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v.130, p.283-290, 2009.