

Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional

Cover plants in pre-harvest and nitrogen in soil fertility in different layers with corn in no tillage and conventional system

Itamar Andrioli¹; Renato de Mello Prado^{1*}

Resumo

As espécies de plantas de cobertura em pré-safra da cultura do milho podem influenciar os atributos químicos do solo. Assim, objetivou-se avaliar a fertilidade do solo em função do emprego de espécies de plantas de cobertura, cultivadas anteriormente à cultura do milho em plantio direto e preparo convencional e submetido a doses de nitrogênio. O experimento foi realizado na UNESP em Jaboticabal-SP, em um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, durante os anos agrícolas 2000/01; 2001/02 e 2002/03. O delineamento experimental foi em blocos em acaso, em parcelas subdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de doses de nitrogênio (0, 60 e 120 kg de N ha⁻¹) e por sistemas de plantio, tendo três sob sistema de plantio direto com uso de plantas de cobertura: braquiária, milheto, crotalaria e lablab, e um sob sistema de preparo convencional. Avaliou-se no estágio de florescimento do milho, referente ao ano agrícola 2002-2003, os atributos químicos do solo (camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30m de profundidade). Os sistemas de plantio e as doses de nitrogênio influenciaram diferentemente às propriedades químicas do solo nas camadas avaliadas. Independentemente da dose de nitrogênio utilizada, o tratamento com sistema convencional, apresentou menor conteúdo de matéria orgânica, concentração de cálcio e valor de soma de bases na camada superficial do solo (0-0,05m).

Palavras-chave: *Zea mays*, adubação verde, sucessão de culturas, atributos químicos

Abstract

The species of cover crops in pre-harvest of maize crop may influence the soil chemical properties. The objective was to evaluate soil fertility due to the use of plant species cover, previously cultivated with maize crop in no-tillage and conventional and subjected to nitrogen. The experiment was conducted at UNESP in Jaboticabal-SP, in an Oxisol clay during the crop years 2000/01, 2001/02 and 2002/03. The experimental design was randomized blocks in split plots with four replications. The treatments consisted of nitrogen (0, 60 and 120 kg N ha⁻¹) and planting systems, and three under no-tillage system with the use of cover crops: Brachiaria, millet, Crotalaria and lablab, and under a conventional tillage. We evaluated at the flowering stage of corn, covering the crop year 2002-2003, the chemical soil layers (0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20; 0.20-0.30 m deep). Tillage systems and nitrogen levels influenced differently to the chemical properties of soil layers studied. Regardless of the nitrogen used in the conventional treatment showed lower organic matter content, calcium and value of sum of bases in the topsoil.

Key words: *Zea mays*, green manure, crop succession, chemical attributes (0-0,05m)

¹ Profs. da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Câmpus Jaboticabal. Jaboticabal, SP. E-mail: andrioli@fcav.unesp.br; rmp Prado@fcav.unesp.br

* Autor para correspondência

Introdução

O cultivo convencional da cultura do milho, ao expor o solo, sem a presença da cobertura morta, aumenta a possibilidade de degradação física e química do solo, com danos ao meio ambiente. Diante disso, surgiu o sistema plantio direto, um manejo conservacionista contribuindo efetivamente para a produção agrícola sustentável.

É conhecido que independentemente da localização geográfica, algumas condições como o não revolvimento do solo e a cobertura do solo são fundamentais para a implantação, manutenção e viabilização do sistema plantio direto. Contrariamente ao sul e, à semelhança do centro-oeste do país, a região norte e nordeste do estado de São Paulo apresenta inverno seco e relativamente quente. Isto tem comprometido os cultivos de safrinhas para a produção de fitomassa, sendo as causas principais do desestímulo e insucesso dos agricultores na adoção do sistema plantio direto. Esta produção de fitomassa é imprescindível para o sistema, protegendo o solo contra a erosão, contribuindo para o aumento da matéria orgânica na camada superficial do solo (CENTURION; DEMATTÊ, 1985; ELTZ; PEIXOTO; JASPER, 1989; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; CASTRO, 1995; SANTOS; TOMM; LHAMBY, 1995; GONÇALVES; CERETTA, 1999; BAYER; SCHENEIDER, 1999; SOUZA; ALVES, 2003) e a melhoria da fertilidade dos solos (NOZAKI; VENDRÚSCOLO, 2010), minimizando os impactos ambientais.

Nos últimos anos, possivelmente devido ao efeito estufa, as mudanças climáticas têm provocado atraso na distribuição uniforme das chuvas, retardando a época de semeadura das safras principais. Isto tem comprometido ainda mais a produção de fitomassa obtidas pelas safrinhas, ou, através do uso de plantas de cobertura. Estas plantas são aquelas espécies (leguminosas, gramíneas, crucíferas, espontâneas e outras) utilizadas com o objetivo de produzir fitomassa, sendo seus resíduos

mantidos na superfície do solo para a formação de cobertura morta, contribuindo para aumentar a eficiência do sistema plantio direto.

As plantas de cobertura, especialmente leguminosas, semeadas nas primeiras chuvas (pré-safra), podem ser mais eficientes no fornecimento de nutrientes às plantas em sucessão, quando comparadas àquelas semeadas no outono. Aita et al. (1994) acrescentam para que o aproveitamento dos nutrientes das plantas de cobertura seja maximizado pela cultura em sucessão, é fundamental que a mineralização dos resíduos culturais ocorra com a maior sincronia possível em relação à demanda de deste nutriente da cultura seguinte. E ainda, a dinâmica de mineralização dos nutrientes depende da composição química dos restos vegetais, em especial no caso de nitrogênio e potássio (SILGRAM; SHEPHERD, 1999).

Salienta-se também, que a irregularidade das primeiras chuvas no início da primavera aumenta os riscos de perdas das culturas por déficit hídrico, portanto, tem-se o atraso da semeadura da cultura principal. Sendo assim, poder-se-ia utilizar esse período para a produção de fitomassa, inclusive com a vantagem de incluir plantas de cobertura de verão, mais adaptadas à essa época para a produção de fitomassa e melhorar os atributos químicos do solo.

Assim, é importante a escolha adequada da planta de cobertura para emprego no sistema de plantio direto, pois a espécie determina mudanças nas propriedades químicas do solo, e os efeitos se refletem diretamente na fertilidade do solo (MUZILLI, 1985; CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

Neste sentido, objetivou-se avaliar a fertilidade do solo em função do emprego de espécies de plantas de cobertura, cultivadas anteriormente à cultura do milho em plantio direto e preparo convencional e submetido a doses de nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi instalado na área experimental da FCAV-Unesp-Jaboticabal-SP, localizada a 21°15'22" de latitude sul e 48°18'58" longitude oeste. O relevo é caracterizado como suave ondulado a 595 m de altitude média, clima subtropical úmido com estiagem no inverno, com média anual de 1285 mm e 22,4°C de precipitação e temperatura, respectivamente, classificado como Cwa conforme o Sistema Internacional de Classificação de Koppen. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa típico (ANDRIOLI; CENTURION, 1999).

O experimento, com o objetivo principal de avaliar o comportamento de plantas de cobertura em sucessão à cultura do milho e da soja em sistema plantio direto na região de Jaboticabal-SP, foi instalado em uma área que há muito tempo (+/- 30anos) vinha sendo cultivada principalmente com milho em sistema convencional (aração e gradagem) e muitas vezes a área permaneceu em pousio.

Em outubro de 94 o solo foi preparado com arado de aivecas, a uma profundidade em torno de 27cm, seguida de aplicação de calcário dolomítico, sem parcelamento, para elevar a saturação por bases a 70%, baseada na análise de solo (0-20cm). Neste ano agrícola 94/95 cultivou-se soja em toda a área experimental. Em maio de 1997, realizou-se amostragem de solo determinando as propriedades químicas, tendo os seguintes resultados: pH=5,5 e 5,4; P resina=23 e 20 mg dm⁻³; Ca= 29 e 29; Mg= 12 e 10; K= 3,1 e 1,5; H+Al= 21,2 e 23,4; SB= 43,7 e 39,4; T= 64,9 e 62,8 mmol dm⁻³ e V=67 e 63%, para camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10cm de profundidade, respectivamente.

Na segunda quinzena de setembro de 1995, realizou-se uma escarificação, até a profundidade de 25cm. A partir de outubro do referido ano, iniciou-se estudos envolvendo sistemas de cultivo (três tipos de sucessões de plantas de cobertura em plantio direto e um sistema convencional), durante

os anos agrícolas de 95/96 até 97/98 e de 98/99 até 99/00, cujo os resultados foram apresentados nos trabalhos de Chueire (1998) e de Teixeira (2001), respectivamente. Nesse período não houve alterações importantes nas propriedades químicas do solo, apresentando teor de M.O. igual a 22, 20 e 19 g dm⁻³ e V igual a 67, 63 e 59% respectivamente, pra as camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m de profundidade.

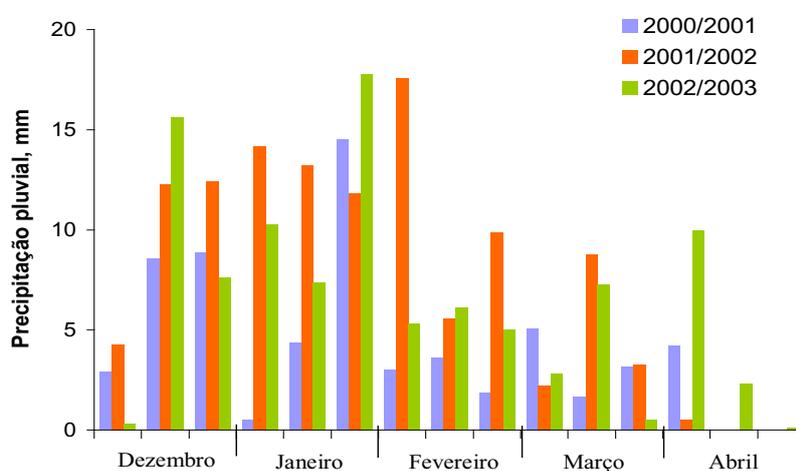
A partir do ano agrícola 2000/2001 adotou-se o delineamento experimental em blocos em acaso, com parcelas subdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos principais foram constituídos de três doses de nitrogênio (0, 60 e 120 kg de N ha⁻¹) e os secundários constituídos de quatro sistemas de plantio, conforme apresentados no Tabela 1, para os anos agrícolas 2000/01; 2001/02 e 2002/03. A área da parcela foi de 800 m² (80x10 m) e a da subparcela de 200 m² (20x10m), totalizando área experimental de 2400m². As plantas de cobertura utilizadas foram: *Brachiaria brizantha*, Milheto (*Pennisetum americanum* sin. *Tiphoides*), *Crotalaria juncea* e *Dolechus lablab*. Realizou-se a coleta de dados pluviais, na época chuvosa durante os três anos agrícolas (2000/01; 2001/02; 2002/03) (Figura 1).

As sementeiras do milho (cv. Agromem 3150) ocorreram no mês de dezembro de 2000; 2001 e 2002, com espaçamento de 0,90 m entre linha. Por ocasião da sementeira utilizou-se 400 kg ha⁻¹ da fórmula 04-20-20 (N - P₂O₅ - K₂O), adotado em todas as parcelas. A aplicação de nitrogênio em cobertura ocorreu quando as plantas apresentavam com 8 folhas, utilizando-se o nitrato de amônio como fonte de nitrogênio (N=34%), metade na forma nítrica e o restante na forma amoniacal, nas quantidades estabelecidas para os tratamentos: 60 e 120 kg de N ha⁻¹, realizada manualmente, sendo a lanço, à 10cm das plantas. Realizou-se o controle químico das plantas daninhas com herbicida pós-emergente glifosato em solução a 2% (produto comercial), 15 dias antes da sementeira do milho.

Tabela 1. Tratamentos com doses de nitrogênio e sistemas de plantio utilizados no ensaio durante os três anos agrícolas.

Tratamentos		Ano agrícola					
		2000/01		2001/02		2002/03	
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Sistema de plantio	Pré-safra	Safra	Pré-safra	Safra	Pré-safra	Safra
0	SP1	Crotalária	Milho	Crotalária	Milho	Crotalária	Milho
60	SP2	Braquiária	Milho	Lablab	Milho	Lablab	Milho
120	SP3	Milheto	Milho	Milheto	Milho	Milheto	Milho
	SP4	Convencional	Milho	Convencional	Milho	Convencional	Milho

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 1. Precipitação decendial durante o ciclo da cultura do milho nos três anos agrícolas.

Fonte: Elaboração dos autores.

Para o controle de plantas daninhas aplicou-se o herbicida pós-emergente nicosulfuron S. C. (40 g.L⁻¹ i.a) na dose de 1,2 L.ha⁻¹ do produto comercial. Na fase inicial da cultura, houve infestação de lagartado-cartucho (*Spodoptera fugiperda*), sendo realizado o controle com o inseticida lambdacyhalothim (50 g.L⁻¹ i.a) na dose de 0,15 L.ha⁻¹ de produto comercial. As adubações (semeadura e cobertura), controle de plantas daninhas e de pragas foram semelhantes nos três anos agrícolas.

A amostragem do solo, em torno de 0,30 m de distância da linha do milho, foi realizada no estágio de florescimento da cultura, referente ao ano agrícola 2002/2003, em 20-03-2003. Foram coletadas 15 subamostras por parcela, utilizando-se de um trado

tipo holandês, para compor uma amostra composta, nas camadas 0,0–0,05 0,05–0,10 0,10–0,20, 0,20–0,30 m de profundidade. As determinações analíticas nas amostras de terra seguiram os métodos descritos por Raji et al. (2001).

Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando o software “SISVAR” versão 4.2 (FERREIRA, 2003).

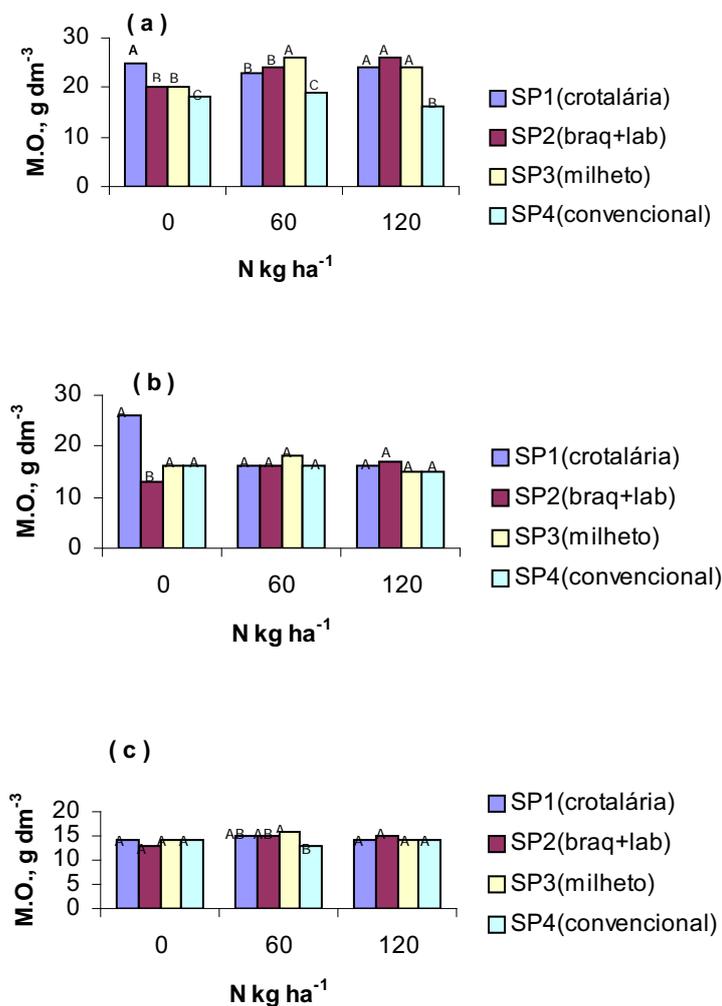
Resultados e Discussão

Para a matéria orgânica, a interação Nitrogênio x Sistema de Plantio (N x SP) somente não foi significativa para a camada de 0,05-0,10 m de profundidade (Tabelas 2 e 3). O efeito do sistema de

plântio dentro de cada dose de N é mais expressivo na camada superficial (Figura 2a). Independentemente da quantidade de nitrogênio utilizada, o sistema plântio direto apresentou maior conteúdo de matéria

orgânica para a camada mais superficial, destacando o tratamento SP₁(crotalária) e SP₂(braq+lab) para N₀ e N₆₀ respectivamente.

Figura 2. Conteúdo de matéria orgânica nas camadas de 0-0,05 m (a), 0,10-0,20 m (b) e 0,20-0,30 m (c) de profundidade em função de sistemas de plântio (em pré-safra) e de dose de nitrogênio aplicado na cultura do milho.



Fonte: Elaboração dos autores.

Para a camada de 0,10-0,20 m somente em N₀ o tratamento SP₁(crotalária) teve maior conteúdo de matéria orgânica em relação ao tratamento SP₂(braq+lab), (Figura 2b). Para a camada de 0,20–0,30 m, apenas o tratamento G (milheto) apresentou menor valor de matéria orgânica em relação ao convencional, para o N₆₀ (Figura 2c).

O aumento da matéria orgânica na camada superficial do solo no sistema plântio direto também foram observados por outros autores (CENTURION; DEMATTÊ, 1985; ELTZ; PEIXOTO; JASPER, 1989; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; CASTRO, 1995; SANTOS; TOMM; LHAMBY, 1995; GONÇALVES; CERETTA, 1999; BAYER; SCHENEIDER, 1999; SOUZA; ALVES, 2003).

Após o controle eficiente da erosão no plantio direto, o aporte de matéria orgânica pode ser considerado o efeito benéfico mais importante deste sistema, principalmente devido a mineralogia caolinítica-oxídica predominante na maioria dos solos brasileiros. Esta elevação no conteúdo de matéria orgânica no plantio direto gera uma nova situação, que altera profundamente vários processos químicos no solo, influenciando o pH, a capacidade de troca de cátions, a toxidez de alumínio e a mobilidade de cátions polivalentes (MIYAZAWA; DAVAN; FRANCHINI, 2000). Assim, as alterações ocorridas na camada de 0-0,05 m de profundidade, em relação ao pH, Al^{3+} e H+Al, podem ser devidas ao incremento médio de 6 mg dm⁻³ de matéria orgânica no sistema plantio direto, em comparação ao convencional.

Nos sistemas de plantio, houve diminuição do pH apenas na camada de 0-0,05 m de profundidade no SP₄, em relação aos demais tratamentos que não apresentaram diferenças entre si (Tabela 2) e isso causou elevação do Al^{3+} e do H+Al do solo.

O maior acúmulo de matéria orgânica obtido naqueles sistemas em relação ao convencional, provavelmente pode ser a causa da redução na acidez do solo na referida camada (MIYAZAWA; PAVAN; CALEGARI, 1993; RITCHIE; DOLLING, 1985). Em experimento de longa duração (10 anos), sistemas de rotação com leguminosas em plantio direto não aumentaram a acidificação do solo na camada mais superficial (0-0,25 m) onde ocorreu acúmulo de matéria orgânica (BURLE; MIELNICZUK; FOCCHI, 1997). Por outro lado, a matéria orgânica é usualmente considerada como acidificante do solo, devido à liberação de íons hidrogênio que estavam associados aos ânions orgânicos e, pela nitrificação em sistema aberto (PORTER; COX; WILSON, 1980; HAYNES, 1983; LOSS; RITCHIE; ROBSON, 1993). No caso em questão, acredita-se que a maior mineralização da matéria orgânica (maior nitrificação) no sistema convencional devido maior aeração (REICOSKY; LINDSTON, 1993; AMADO, 1997;

AMADO; MIELNICZUK; FERNANDES, 2000) e a diminuição do seu conteúdo no solo, devido a erosão superficial ocorrida neste sistema podem ser apontados como causa da acidificação de tal camada.

Os maiores valores de Ca e Mg na camada 7,5 a 17,5cm, em sistema de rotação com trevo que acidificou mais o solo, foi atribuído à lixiviação de nitrato como um importante processo na acidificação do solo (BURLE; MIELNICZUK; FOCCHI, 1997). Por outro lado, o pH do solo em questão (4,4) para o sistema convencional, pode não ter sido limitante para o processo de mineralização, embora vários autores preconizem que a mineralização em pH<5 é desprezível (DANCER; PETERSON; CHESTERS, 1973; NYBORG; HOYT, 1978).

Deve-se considerar, a capacidade de neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais (MIYAZAWA; PAVAN; CALEGARI, 1993; FRANCHINI et al., 1999; HUE; LICUDINE, 1999; MIYAZAWA; DAVAN; FRANCHINI, 2000). Esta capacidade está associada aos conteúdos de cátions e carbono orgânico solúvel, que são maiores em resíduos de plantas de cobertura, principalmente leguminosas, quando comparados aos resíduos de culturas comerciais, em função de sua avançada idade fisiológica por ocasião da colheita (MIYAZAWA; DAVAN; FRANCHINI, 2000). Tais fatos ajudam a explicar a maior acidificação do solo no sistema convencional que não incluiu plantas de cobertura no sistema de rotação e, a melhor compreender a não acidificação da camada superficial no tratamento SP₁ que utilizou as leguminosas crotalária, e guandu (ano agrícola 95/96), que liberam prótons quando do processo de fixação biológica (HAYNES, 1983).

A lixiviação de nitrato é um dos principais processos no ciclo do nitrogênio, resultando na acidificação do solo em ecossistemas agrícolas (HAYNES, 1983; HELYAR; PORTER, 1989). Assim, os menores valores de Ca, Mg e K de 0-0,05 m de profundidade, no sistema convencional, podem indicar que estes íons foram translocados com nitratos, oriundos da nitrificação.

Assim, conforme Helyar (1976) a natureza alcalina dos materiais químicos de plantas fixadoras de nitrogênio, surge da dissociação de ácidos orgânicos, metabolizados dentro da planta, em resposta ao desbalanço cátion/anion causado pela absorção de NH_4^+ e fixação de N_2 . Deste modo, a planta diminui este desbalanço pela excreção de ions H^+ e, assim, a dissociação de ácidos orgânicos, isto é, a concentração de anions dentro da planta aumenta (ISRAEL; JACKSON, 1978, citado por RITCHIE; DOLLING, 1985).

Em adição a isto, as leguminosas tropicais (no caso crotalaria e guandu) são mais tolerantes à solos ácidos (WHITE, 1955, citado por MONEGAT, 1991) e, portanto, têm menor excreção de H_3O^+ , resultando em menor poder de acidificação (HAYNES, 1983). Em relação para o tratamento SP_3 (milheto), ou seja sistema que não utiliza leguminosas pode resultar em excreção de íon H^- e HCO_3^- e aumentar o pH (BURLE; MIELNICZUK; FOCCHI, 1997). Por outro lado Miyazawa, Pavan e Calegari (1993) verificaram que o efeito do milheto na neutralização do solo foi praticamente nulo.

A liberação de íons H^+ pelo material orgânico é dependente do pH inicial do solo e da constante da dissociação (pK) dos ácidos orgânicos fracos (HELYAR, 1976). Assim, se o pH do solo é menor do que o pkm do grupo dos ácidos orgânicos fracos da matéria orgânica adicionada, haverá aumento no pH devido a associação do solo com alguns dos ânions orgânicos. A natureza ácida dos grupos ácidos é usualmente caracterizada pela determinação do pk médio a 50% da dissociação, o pkm ou pka (STEVENSON, 1982). Conforme Miyazawa, Davan e Franchini (2000), os valores de pka dos compostos orgânicos presentes em resíduos situam-se normalmente entre 5 e 7. Considerando-se, ainda, o pH médio do solo (4,6) no sistema planio direto, abaixo do pka dos resíduos, pode-se admitir que, com a condução do experimento por um período mais longo, pode haver maior aumento do valor pH.

O maior conteúdo de matéria orgânica nos

sistemas com plantas de cobertura também pode explicar a menor concentração de alumínio trocável (menor acidez trocável), em relação ao sistema convencional. A redução da toxidez de Al após aplicação de resíduos vegetais, também foi observada por Miyazawa, Pavan e Calegari (1993); Franchini et al. (1999) e Hue e Licudine (1999). Conforme Miyazawa, Davan e Franchini (2000), isto se deve a dois processos: hidrólise, devido ao aumento do pH que no caso em questão ocorreu ($\text{Al}^{+3} + 3 \text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$ precipitado) e complexação por ácidos orgânicos. Ainda segundo estes autores, o grau de neutralização da toxidez de Al por ácidos orgânicos é determinado pela estabilidade do complexo orgânico formado. A amenização da toxidez de Al por ácidos orgânicos em trigo obtém a seguinte ordem de eficiência: cítrico > tartárico > oxálico > húmico > malônico > maleico > salicílico > succino (MIYAZAWA; CHIARICE; PAVAN, 1992). Tais fatos podem explicar a ocorrência de solos com altas produtividades de culturas anuais, cultivados há vários anos em sistema plantio direto, apesar de apresentarem valores em torno de 40% de saturação por bases.

A adubação nitrogenada provocou diminuição do pH, aumento da acidez trocável (Al^+) e da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) até 10 cm de profundidade (Tabela 2) e, principalmente no sistema convencional na camada de 0–0,05m de profundidade (Figura 3a). A aplicação de fertilizantes nitrogenados amoniacais exerce ação acidificante, em função do processo de nitrificação que consiste na transformação dos ions amônio em nitrato, resultado na liberação de ions H^+ (MALAVOLTA, 1980; MELLO; ANDRADE, 1970; TISDALE; NELSON, 1975). A acidificação superficial do solo, em função da produção de prótons durante a nitrificação do amônio, também foi constatada por Helyar (1991); Bolan, Hedley e White (1991) e Franchini et al. (2000).

Conforme Paiva et al. (1996), o pH em água da parcela que recebeu sulfato de amônio foi, em média, 0,5 unidade menor que o pH da parcela que não recebeu o adubo, foi o que provocou acréscimos

nos teores de Al, devido a solubilização deste elemento, provocada pela redução do pH. A acidez potencial (H + Al) foi maior quando da aplicação de nitrogênio na forma de sulfato indicando que, provavelmente, parte dos ions H⁺ resultantes da nitrificação do amônio se ligam aos colóides do solo por covalência.

As maiores concentrações de cálcio e magnésio nos tratamentos SP₁(crotalária), SP3(milheto) e SP₂(braq+lab), e de potássio nos tratamentos SP₁(crotalária) e SP3(milheto), em relação ao sistema SP₄(convencional), na camada de 0–0,05 m de profundidade, evidencia a importância do sistema de plantio direto na ciclagem destes nutrientes. Os aumentos de cálcio, magnésio e potássio neste sistema têm sido observados por Muzilli (1983); Centurion e Demattê (1985); Santos, Tomm e Lhamby (1995); Sidiras e Pavan (1985); De Maria e Castro (1993); Oliveira (2001) e Santos e Tomm (2003).

A espécie de planta de cobertura, utilizada no sistema de rotação, pode influenciar na natureza do nutriente a ser reciclado. Para a referida camada, o tratamento SP₁(crotalária) apresentou o maior valor de cálcio em relação aos tratamentos SP3(milheto) e SP₂(braq+lab). Já para o potássio, seu maior valor foi observado no tratamento SP₃(milheto), enquanto os tratamentos SP₁(crotalária) e SP3(milheto) apresentaram os maiores valores de magnésio. Ainda para esta camada, o SP₄(convencional) apresentou o menor valor de cálcio para N₆₀ e N₁₂₀, enquanto que para N₀ este foi maior para o tratamento SP₁(crotalária), em relação aos demais (Figura 3b). Como neste tratamento, durante todo o período do experimento (1995/2003), utilizou-se predominantemente a crotalaria juncea, neste tratamento, pode-se inferir que esta leguminosa apresentou maior eficiência na reciclagem do nutriente, principalmente na ausência do nitrogênio em cobertura. Tal fato ocorreu de 0,05-0,10 m de profundidade, entretanto, o tratamento SP₁(crotalária) não diferiu do SP₄(convencional) (Figura 3c) (0,05-0,10 m).

Tabela 2. Resultado das análises químicas do solo para os tratamentos referentes as camadas de 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10m de profundidade.

Tratamentos	pH	P(res.)	M.O.	Ca	Mg	K	H+Al	SB	T	V	Al ³⁺
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							%
N ₀	5,0A	23A	21B	20A	10A	2,1A	27B	32,2A	59,4B	55A	0,3C
N ₆₀	4,6B	28A	23A	17A	7A	1,8A	37A	25,5A	62,6AB	41B	1,3B
N ₁₂₀	4,4C	21A	22AB	17A	7A	1,4B	42A	25,2A	66,4A	38B	2,4A
CV%	3,0	42,7	8,8	26,9	37,2	19,2	15,8	27,4	8,7	27,9	60,9
SP ₁	4,8A	23A	23A	22A	10A	1,8B	32B	33,6A	64,6A	51A	0,4B
SP ₂	4,7A	23A	23A	18B	8B	1,6BC	34B	27,1B	61,3A	45A	1,0B
SP ₃	4,7A	30A	23A	18B	9AB	2,2A	34B	29,1B	63,3A	49A	1,0B
SP ₄	4,4B	21A	17B	14C	6C	1,4C	40A	20,7C	61,9A	34B	2,9A
N x SP	NS	NS	**	**	*	NS	NS	**	**	NS	**
CV%	3,4	50,4	5,9	13,6	19,9	17,5	9,2	13,0	5,2	12,4	51,8
N ₀	4,7A	40A	17A	18A	7A	1,8A	32B	27,1A	59,4A	45A	1,1B
N ₆₀	4,5AB	38A	19A	15A	5A	1,7AB	39AB	22,6A	60,3A	36A	1,8B
N ₁₂₀	4,2B	37A	18A	15A	6A	1,2B	41A	21,7A	62,9A	34A	4,3A
CV%	5,9	36,2	8,9	34,7	41,2	31,5	17,3	34,6	6,7	28,6	28,9

continua

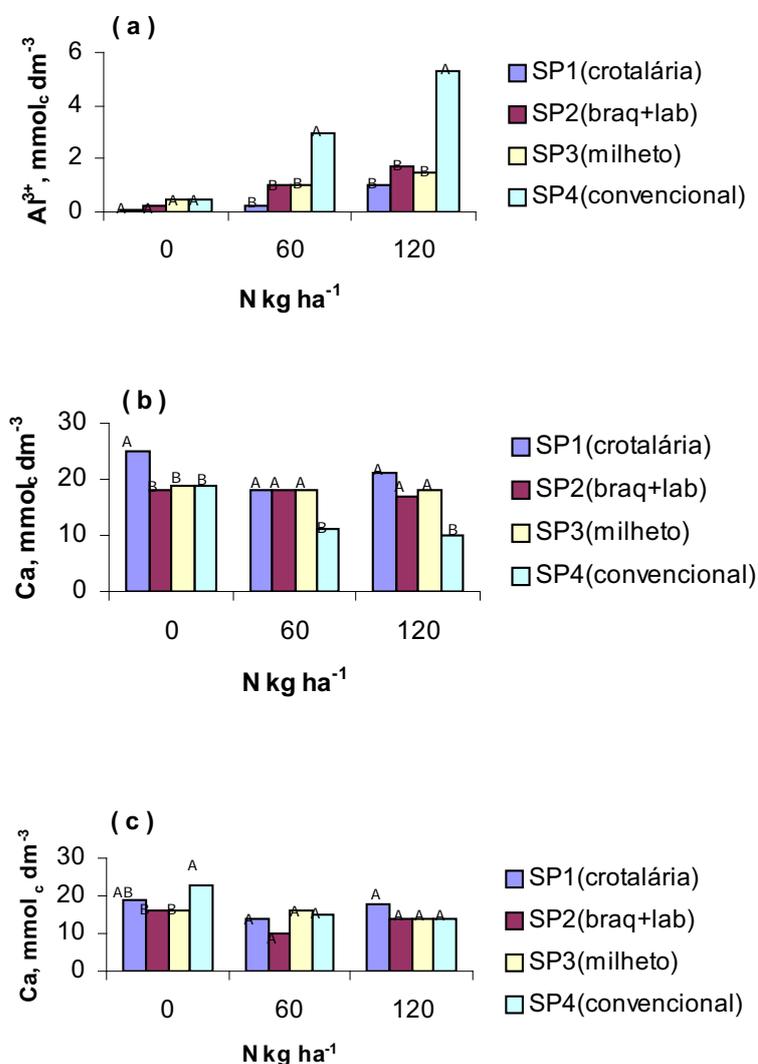
continuação

SP ₁	4,5A	40A	18A	17A	6A	1,5B	36A	25,8A	60,5A	40A	2,3A
SP ₂	4,5A	35A	17A	15A	5A	1,4B	38A	21,7A	59,3A	37A	2,3A
SP ₃	4,4A	35A	18A	15A	6A	1,8A	39A	22,3A	61,6A	36A	2,8A
SP ₄	4,5A	42A	18A	17A	7A	1,5B	37A	25,4A	62,3A	41A	2,3A
N x SP	NS	NS	NS	**	**	NS	NS	*	**	**	NS
CV%	3,6	60,7	7,3	13,7	18,9	14,1	7,8	16,8	6,7	10,7	33,4

Médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SP₁ e SP₃= sucessão crotalária/milho e milheto/milho nos três anos agrícolas; SP₂= sucessão braquiária/milho no ano agrícola 2000/01 e lablab/milho para os demais anos agrícolas e SP₄= preparo convencional.

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 3. Acidez trocável do solo da camada de 0-0,05m (a), concentração de cálcio no solo para as camadas de 0-0,05m (b) e 0,05-0,10m (c) em função de sistemas de plantio (em pré-safra) e de dose de nitrogênio aplicado na cultura do milho.



Fonte: Elaboração dos autores.

Para o magnésio (0-0,05 m) apenas para N_{60} o comportamento dos tratamentos foi diferente ao do cálcio (Figura 4a) (0-0,05 m). Para esta dose, além do SP_4 (convencional), o SP_3 (milheto) também apresentou valores menores de magnésio. Na ausência do nitrogênio em cobertura, o tratamento com predominância de *Crotalaria juncea* (SP_1) também teve o maior valor de magnésio e, para N_{60} , isto ocorreu com os tratamentos SP_1 (crotalária) e SP_3 (milheto). Já para a camada de 0,05–0,10 m, em N_0 o SP_4 (convencional) apresentou o maior valor deste nutriente em relação aos demais e, para N_{120} apenas o SP_4 (convencional) apresentou valor menor do que a SP_1 (crotalária) para este elemento (Figura 4b).

Nas camadas subsuperficiais avaliadas os teores de cálcio e magnésio nos tratamentos SP_3 (milheto) e SP_2 (braq+lab) foram semelhantes ao SP_4 (convencional), exceção à camada de 0,10-0,20 m, nas quais os teores destes nutrientes foram significativamente superiores no sistema convencional (Tabela 3). Tais resultados são contrastantes aos obtidos por Franchini et al. (1999); Franchini et al. (2000) e Oliveira e Pavan (1996). Nestes trabalhos, a formação de complexos entre cálcio ou magnésio e compostos orgânicos de baixo peso molecular, foi sugerida como o provável mecanismo responsável pela mobilidade de íons polivalentes de solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais, o que não foi observado no presente estudo.

Entretanto, para o potássio nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, os maiores valores de K foram encontrados no SP_3 (milheto), (Tabelas 2 e 3). Esse fato pode ser explicado em função da espécie utilizada como planta de cobertura apresentar eficiência específica alta de absorção desse nutriente (CORRÊA; MAUAD; ROSELEM, 2004), influenciando sua dinâmica de disponibilidade no solo, com a decomposição da palha (CHIEN;

MENON, 1995), que foi possivelmente favorecido pelo maior desenvolvimento do sistema radicular do milho nessas camadas e, ou, maior concentração de potássio nas raízes destas plantas.

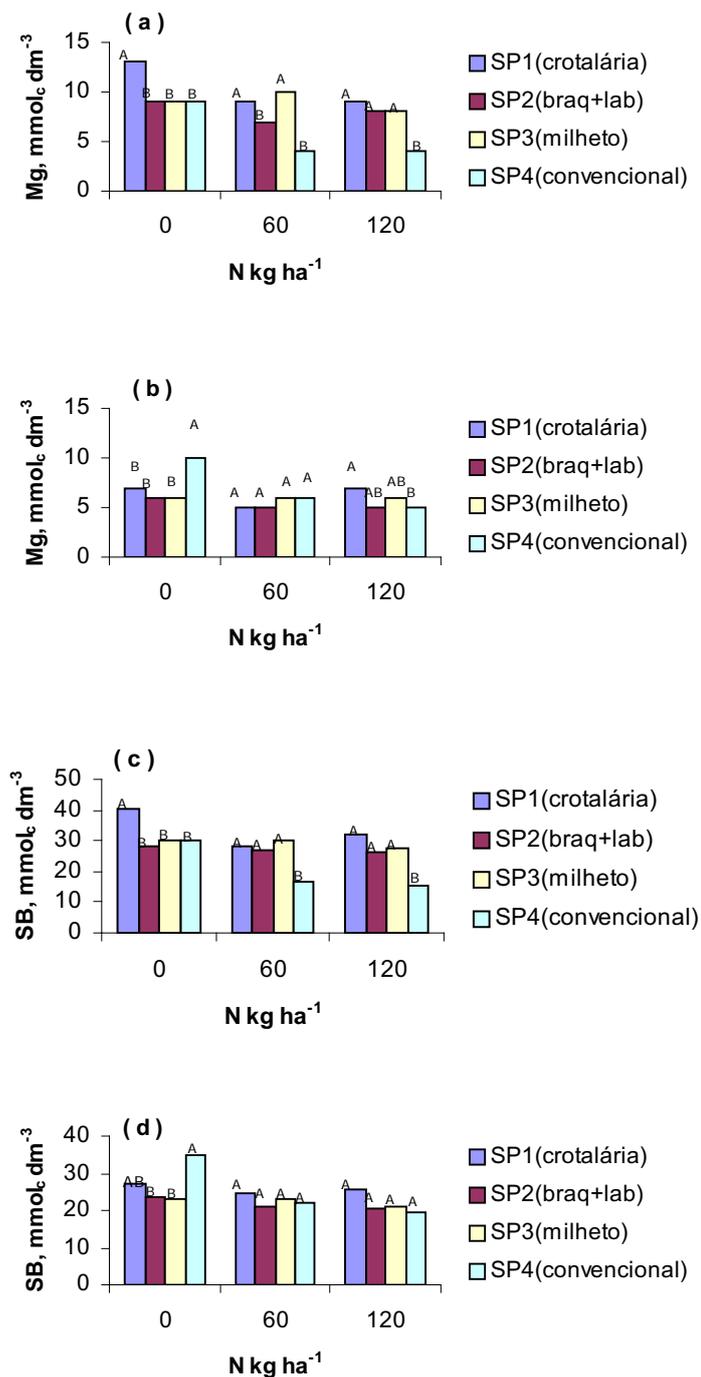
Devido a maior participação do cálcio, em relação as outras bases trocáveis no complexo de troca do solo, o efeito dos tratamentos nas camadas de 0–0,05 m e 0,05–0,10 m na soma de bases (SB) foi semelhante ao deste cátion para as doses de nitrogênio utilizadas (Figuras 4c e 4d).

Com relação a capacidade de troca de cátions, na ausência de adubação nitrogenada em cobertura para a camada de 0–0,05 m de profundidade, os tratamentos tiveram comportamento semelhante ao cálcio, magnésio e SB. O SP_1 (crotalária) apresentou valor superior aos demais tratamentos (Figura 5a). Entretanto, na camada de 0,05–0,10 m, o SP_4 (convencional) apresentou maior valor que o SP_2 (braq+lab) para N_0 e para o N_{60} , e a SP_1 (crotalária) apresentou menor valor do que o SP_3 (milheto) (Figura 5b).

Para a saturação por bases (V%) a interação $N \times SP$ somente foi significativa na camada de 0,05–0,10 m de profundidade (Figura 5c). Nas parcelas que não receberam nitrogênio, o V% foi superior ao tratamento SP_4 (convencional) em relação aos outros tratamentos. Entretanto, para N_{120} no tratamento SP_1 (crotalária) + SP_3 (milheto), o valor de V% foi somente inferior ao SP_1 (crotalária).

Em relação ao fósforo observa-se que os tratamentos não apresentam diferenças significativas entre si para as camadas avaliadas (Tabelas 2 e 3). No entanto, a maioria dos resultados tem mostrado maiores valores deste nutriente no sistema plantio direto, em comparação ao convencional, principalmente na camada superficial (MUZILLI, 1983; CENTURION; DEMATTÊ, 1985; SANTOS; TOMM; LHAMBY, 1995; SIDIRAS; PAVAN 1985; DE MARIA; CASTRO 1993; OLIVEIRA, 2001; SANTOS; TOMM, 2003; SOUZA; ALVES, 2003).

Figura 4. Concentração de magnésio no solo para as camadas de 0-0,05m (a) e 0,05-0,10m (b) e soma de bases do solo para as camadas de 0-0,05m (c) e 0,05-0,10m (d) em função de sistemas de plantio (em pré-safra) e de dose de nitrogênio aplicado na cultura do milho.



Fonte: Elaboração dos autores.

Isso deve ter ocorrido devido a: ausência de adubação nas plantas de cobertura e de rotação de culturas (pelo menos nos três últimos anos agrícolas), com culturas comerciais que são adubadas com este nutriente. Estas culturas (comerciais ou plantas de cobertura), certamente necessitam de espaçamentos diferentes, o que possibilita melhor distribuição de P na área; como as parcelas foram demarcadas

(0,20–0,10 m), há grande probabilidade das linhas de semeadura do milho serem coincidentes nos três anos de cultivo; aliado a estes fatos, deve-se considerar também que a amostragem foi realizada a 0,30 m de distância da linha e, com trado tipo holandês, tendo a parte inferior ativa 0,10 m de comprimento x 0,04 m de largura x 0,02 m de espessura.

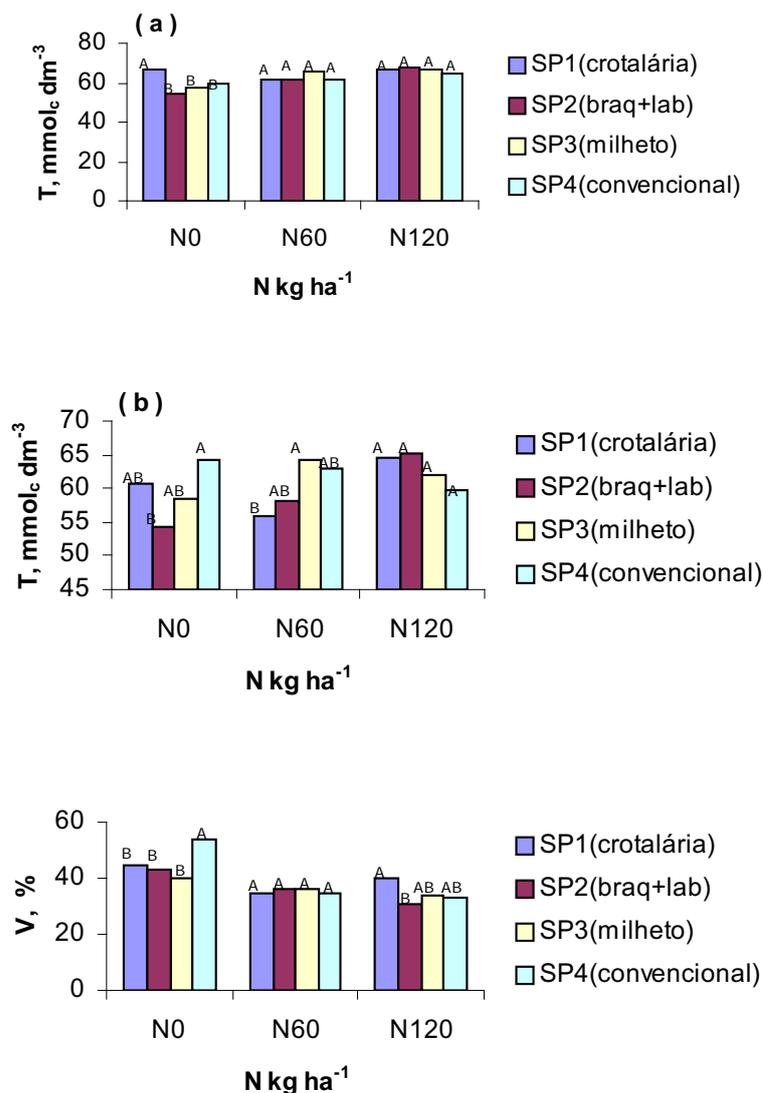
Tabela 3. Resultado das análises químicas de solo para os tratamentos referentes as camadas de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30m de profundidade.

Tratamentos	pH	P(res.)	M.O.	Ca	Mg	K	H+Al	SB	T	V	Al ³⁺
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%	mmol _c dm ⁻³	
N ₀	4,6A	44A	15B	18A	6A	1,5A	33A	26,2A	59,3A	44A	1,7A
N ₆₀	4,5A	54A	16A	14A	5A	1,6A	40A	20,5A	60,1A	34A	2,2A
N ₁₂₀	4,4A	41A	16AB	17A	6A	1,2B	37A	24,3A	61,5A	39A	2,2A
CV%	7,1	53,3	7,1	34,9	44,2	22,2	21,7	38,0	8,2	34,7	73,8
SP ₁	4,5A	43A	16A	18A	6AB	1,2B	38A	24,7A	62,4A	40AB	2,6A
SP ₂	4,5A	44A	15A	16AB	5AB	1,3B	35A	22,2A	57,3A	39AB	1,8A
SP ₃	4,4A	50A	16A	15B	5B	1,5A	37A	21,9A	59,3A	36B	2,0A
SP ₄	4,6A	48A	16A	17A	7A	1,7A	36A	26,1A	62,2A	42A	1,7A
N x Mt	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV%	4,1	43,4	8,0	14,4	25,4	12,9	8,7	17,0	7,7	11,9	62,6
N ₀	4,6A	14A	13B	14A	5A	1,7A	34A	20,9A	55,1A	38A	2,3A
N ₆₀	4,4A	17A	15A	11A	4A	1,5AB	39A	17,4A	56,8A	31A	2,7A
N ₁₂₀	4,4A	14A	14AB	13A	5A	1,3B	37A	19,6A	56,7A	35A	2,6A
CV%	9,1	62,0	6,6	54,9	54,3	20,8	23,5	50,0	8,6	47,7	65,7
SP ₁	4,4A	16A	14A	13A	5A	1,3B	39A	18,6A	57,9A	32A	3,3A
SP ₂	4,5A	15A	14A	14A	5A	1,5AB	35B	20,7A	55,7A	37A	2,0A
SP ₃	4,4A	17A	14A	11A	4A	1,5AB	37AB	17,1A	54,3A	32A	2,6A
SP ₄	4,5A	13A	14A	14A	5A	1,7A	36AB	20,6A	56,9A	36A	2,3A
N x SIST	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV%	4,2	32,6	6,9	21,0	22,5	18,8	9,4	19,4	6,1	16,6	55,6

Médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SP₁ e SP₃= sucessão crotalaria/milho e milho/milho nos três anos agrícolas; SP₂= sucessão braquiária/milho no ano agrícola 2000/01 e lablab/milho para os demais anos agrícolas e SP₄= preparo convencional.

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 5. Capacidade de troca de cátions para as camadas de 0-0,05m (a) e 0,05-0,10m (b) e saturação por bases do solo para a camada de 0,05-0,10m (c) em função de sistemas de plantio (em pré-safra) e de dose de nitrogênio aplicado na cultura do milho.



Fonte: Elaboração dos autores.

Por fim, o coeficiente de variação alto (33 a 61%) para a concentração de P nas diferentes camadas de solo, pode ter afetado a significância. Esse coeficiente de variação para a concentração de P pode ser considerado de médio a alto, pois Warrick e Nielsen (1980), estudando a variabilidade de diversas propriedades do solo, classificaram a variabilidade em três níveis: baixa ($CV \leq 12\%$), média ($12\% < CV \leq 52\%$) e alta ($CV > 52\%$). Neste

sentido, devido ao fato do CV ter atingido nível alto, induziu a não significância entre as plantas de cobertura, para a concentração de P do solo, uma vez que estas tiveram uma distribuição uniforme na área, e o SP₃(milheto) apresentou valor de fósforo 1,4 vezes superior ao SP₄(convencional) na camada superficial, sem significância. Isto possivelmente indica que o método usado na amostragem não foi o mais indicado para a avaliação do fósforo.

Notou-se que o cultivo em pré-safra com crotalária, braquiária e milheto foram semelhantes para a melhoria dos principais atributos químicos da fertilidade do solo, em relação ao valor pH e saturação por bases (camada de 0-0,05m), em relação ao sistema convencional. Portanto, as informações deste trabalho, indica viabilidade do uso em pré-safra de plantas de cobertura em sistema de plantio direto, sendo esse efeito pouco dependente da espécie, discordando de outros autores (MUZILLI, 1985; CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004) que afirmaram que o genótipo da planta de cobertura poderia influenciar nas alterações químicas do solo.

Conclusões

Os sistemas de plantio e as doses de nitrogênio influenciaram diferentemente às propriedades químicas do solo nas camadas avaliadas. Independentemente da dose de nitrogênio utilizada, o tratamento SP₄(convencional), apresentou menor conteúdo de matéria orgânica, concentração de cálcio e valor de soma de bases na camada superficial do solo.

O cultivo em pré-safra com crotalária, braquiária e milheto foram semelhantes na melhoria da fertilidade do solo da camada de 0-0,05cm, em relação ao sistema convencional.

Referências

AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 18, n. 1, p. 101-108, 1994.

AMADO, T. J. C. *Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo*. 1997. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF. *Resumos...* Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de teutônia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 165-166, 1999.

BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J.; WHITE, R. E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling whit emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRNAN, R. P. (Ed.). *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht: Klumer Academic, 1991. p. 169-179.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil*, The Hague, v. 190, n. 3, p. 309-316, 1997.

CASTRO, O. M. *Comportamento físico e químico de um Latossolo roxo em função do seu preparo na cultura do milho (Zea mays L.)* 1995. Tese (Doutorado em Agronomia Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Cerrado cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 9, n. 3, p. 263-266, 1985.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertility Research*, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 227-234, 1995.

CHUEIRE, F. B. *Efeito de plantas de cobertura e sistemas de controle de plantas daninhas em semeadura direta na produção de biomassa, propriedades do solo e produtividade do milho (Zea mays L.)*. 1998. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. FCAV-Unesp, Jaboticabal.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

DANCER, W. S.; PETERSON, L. A.; CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by

- soil pH and previous N treatments. *Soil Science Society American Proceeding*, Madison, v. 37, n. 1, p. 67-69, 1973.
- DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 471-477, 1993.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASPER, F. R. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.
- FERREIRA, D. F. *Sisvar versão 4.2*. Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.
- FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extrato de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, dez. 1999.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 307-313, 1999.
- HAYNES, R. J. Soil acidification induced by leguminous crops. *Grass and Forage Science*, Oxford, v. 38, n. 1, p. 1-11, 1983.
- HELYAR, K. R. Nitrogen cycling and soil acidification. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, Hawthorn, v. 42, n. 4, p. 217-221, 1976.
- _____. The management of soils. In: WRIHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRAN, R. P. (Ed.). *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.
- HELYAR, K. R.; PORTER, W. M. Soil acidification its measurement and the processes involved. In: ROBSON, A. D. (Ed.). *Soil acidity and plant growth*. Sidney: Academic Press. 1989. p. 61-101.
- HUE, N. V.; LICUDINE, D. L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of manures. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 28, n. 2, p. 623-632, 1999.
- LOSS, S. P.; RITCHIE, G. S. P.; ROBSON, A. D. Effect of lupins and pasture on soil acidification and fertility in western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Canberra, v. 33, n. 4, p. 457-464, 1993.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MELLO, F. A. A.; ANDRADE, R. G. A influência de alguns adubos sobre o pH do solo. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 48, n. 2, p. 68-78, 1970.
- MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 369-374, 1991.
- MIYAZAWA, M.; CHIARICE, G. D.; PAVAN, M. A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 209-215, 1992.
- MIYAZAWA, M.; DAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. *Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais*. Piracicaba: Potafos. 2000. (Encarte Técnico, Informações Agronômicas, n. 92).
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.
- MONEGAT, C. *Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades*. Chapecó, SC: Edição do Autor, 1991, 337 p.
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Ed.). *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 147-160.
- _____. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.
- NOZAKI, M. H.; VENDRÚSCOLO, M. Características químicas e densidade global de um Latossolo Vermelho eutroférico cultivado com plantas de cobertura em Toledo-PR. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, p. 1245-1252, 2010. Suplemento 1.
- NYBORG, M.; HOYT, P. B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 58, n. 3, p. 331-338, 1978.

- OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 38, n. 1-2, p. 47-57, 1996.
- OLIVEIRA, T. K. *Plantas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado e seus efeitos no feijoeiro e no solo em plantio direto*. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PAIVA, P. J. R.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E.; FAQUIN, V. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 71-75, 1996.
- PORTER, W. M.; COX, W. J.; WILSON, I. Soil acidity is it a problem in Western Australia? *Journal of Agriculture of Western Australian*, Derby, v. 21, n. 4, p. 126-33, 1980.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- REICOSKY, D. C.; LINDSTON, M. J. Fall tillage method: effect on short carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*, Madison, v. 85, n. 6, p. 1237-1243, 1993.
- RITCHIE, G. S. P.; DOLLING, P. J. The role of organic matter in soil acidification. *Australian Journal Soil Research*, Collingwood, v. 23, n. 4, p. 569-576, 1985.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. *Ciência Rural*, Santa Maira, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa MG, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.
- SILGRAM, M.; SHEPHERD, M. A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Advances in Agronomy*, Newark, v. 65, n. 1, p. 267-311, 1999.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.
- STEVENSON, F. J. Origen and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). *Nitrogen in agricultural soils*. Madison: American Society Agronomy, 1982. p. 1-42.
- TEIXEIRA, A. N. S. *Efeito do sistema de plantio direto e da sucessão de culturas na produtividade da soja e nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Jaboticabal-SP*. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. FCAV-Unesp, Jaboticabal.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. *Soil fertility and fertilizers*. 2. ed. London: The MacMillan, 1975. 695 p.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Application of soil physics*. New York: Academic Press, 1980.