

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO**

Aline Carla Trombeta Bettiol
Engenheira Agrônoma

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO**

Aline Carla Trombeta Bettiol

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Co-orientador: Prof. Dr. Itamar Andrioli

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2014

B565e Bettiol, Aline Carla Trombeta
Efeitos de plantas de cobertura em atributos químicos do solo /
Aline Carla Trombeta Bettiol. -- Jaboticabal, 2014
iii, 50 p. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz
Banca examinadora: Manoel Evaristo Ferreira, Felipe Batistella
Filho
Bibliografia

1. Plantio direto. 2. Nitrogênio. 3. Carbono orgânico. 4. *Zea mays*. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.452

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

AUTORA: ALINE CARLA TROMBETA BETTIOL

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / Câmpus de Matão / Matão/SP

Data da realização: 10 de julho de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Aline Carla Trombeta Bettiol – nascida em 10 de maio de 1989, na cidade de Santa Fé do Sul – SP. Concluiu o ensino médio em dezembro de 2006, no colégio COC - Cecafe- Santa Fé do Sul. Em março de 2007 iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus de Ilha Solteira. Foi bolsista PIBIC/CNPq no período de julho de 2011 a dezembro de 2011. Participou do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (Uberlândia – 2011). Em março de 2012 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Durante o mestrado foi bolsista CAPES.

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

Mahatma Gandhi

Aos meus pais Carlos e Cida, e ao meu irmão João Víctor, pelo apoio, amor, dedicação, por tudo que fizeram, fazem e farão por mim. Mais essa etapa vencida é dedicada a vocês, porque participaram ativamente para que ela pudesse ser alcançada. Dedico a vocês todas as vitórias, porque são a razão do meu esforço e dedicação!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades concedidas e pelas vitórias alcançadas!

Aos meus pais Carlos e Cida, pelo apoio incondicional, desde sempre. Pelo amor sem limites, pela confiança na minha capacidade, pelas orações. Pelo incentivo em buscar um futuro brilhante, baseado no estudo. Pela lição de vida a mim ensinada todos os dias, de que tudo na vida vem mediante o esforço e dedicação! Por abrirem mão de muitas coisas para que eu chegasse onde estou! Amo muito vocês!

Ao meu irmão João Víctor pelo apoio, amizade, torcida!

Aos professores Mara e Manoel Evaristo, que me orientaram não só para o desenvolvimento do trabalho, mas também para a vida profissional. O ensinamento mais valioso que levo, é o amor, o respeito e a ética pela profissão.

À Professora Mara Cristina Pessôa da Cruz, que me acolheu de braços abertos no Laboratório de Fertilidade do Solo e muito mais que uma orientadora se tornou uma grande amiga!

Ao Professor Manoel Evaristo Ferreira, que com toda sua experiência, esteve sempre disposto a dar opiniões valiosas ao desenvolvimento deste trabalho, não só na teoria, mas na prática!

Ao Professor Itamar Andrioli, pela co-orientação e por ter gentilmente cedido a área para a coleta das amostras de solo e todas as informações referentes à área do experimento, muito obrigada.

Aos Professores William Natale e José Carlos Barbosa, pelas contribuições no exame geral de qualificação, em especial ao Professor José Carlos Barbosa pela ajuda preciosa na análise estatística.

Aos companheiros de laboratório, Fernando Kuhnen, Thiago de Barros Sylvestre, Lucas Boscov Braos, Daily Soraya Aquino Duarte, Cássia Rita Adame, Jaqueline Nayara Ferraça Leite e Aluísio Hideki Togoro.

Às amigas de laboratório que fiz e levarei para sempre, Marina Ali Mere Bergamasco e Samira Furtado de Queiroz. Obrigada por tudo, principalmente pelo

carinho de vocês. Marina, serei grata sempre, por sua participação valiosa nas coletas de amostras e análises, e pela sua generosidade em ajudar.

À amiga Selma Guimarães Figueiredo, técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo, que sempre esteve disposta a ajudar no que foi preciso. Obrigada pela ajuda generosa no preparo de soluções e nas dicas preciosas para o sucesso das análises!

À Jéssica Melina de Castro, que mais que uma companheira de apartamento, se tornou uma grande amiga, muito querida, tornou meus dias longe de casa mais felizes! Obrigada pela sua generosidade, pelo apoio e carinho!

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização e sucesso deste trabalho!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Sistema plantio direto	3
2.2 Plantas de cobertura.....	4
2.3 Transformações e formas de C e N no solo.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Histórico do experimento.....	10
3.2 Métodos de determinação dos atributos do solo – safra 2012/2013 ..	11
3.3 Forma de análise dos resultados.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Valores de pH.....	15
4.2 Fósforo disponível.....	16
4.3 Bases trocáveis	17
4.4 Formas de C e N	19
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

RESUMO – Plantas de cobertura em pré-safra podem influenciar atributos químicos do solo, ao ponto de permitir que as doses de nutrientes para a cultura principal possam ser diminuídas. Neste sentido, o objetivo com este trabalho foi avaliar atributos químicos do solo após doze anos de cultivo de plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho. O experimento foi realizado na Unesp de Jaboticabal, em Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos principais foram culturas de cobertura: crotalária, feijão-de-porco, lablab, milheto, mucuna-cinza e vegetação espontânea; os tratamentos secundários foram profundidades de coleta das amostras de solo. As amostras foram coletadas no início da safra 2012/2013, 29 dias após a semeadura do milho, nas camadas de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm, nas quais foram avaliados os valores de pH, os teores de P disponível, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis, C-orgânico total (CO), C-orgânico extraído em água quente (CO-Aq), N-total (Nt), N-orgânico extraído em água quente (NO-Aq), N-KCl a quente (N-KCl), N-NH_4^+ e N-NO_3^- . O cultivo de plantas de cobertura não causou variação na acidez do solo, nos teores de P disponível e de bases trocáveis. O aumento do CO e do Nt do solo foi favorecido pelo cultivo de leguminosas, com destaque para mucuna-cinza. Maiores quantidades de N em formas lábeis foram obtidas com cultivo de leguminosas, particularmente lablab e feijão-de-porco. O milheto não resultou em melhora de atributos químicos do solo, mesmo depois de doze anos de cultivo em pré-safra a cultura do milho.

Palavras-chave: plantio direto, nitrogênio, carbono orgânico, *Zea mays*.

EFFECTS OF COVER CROPS IN CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL

ABSTRACT - Cover crops before crop season can influence soil chemical attributes, it may reduce the amount of nutrients to be provide to the crop. Therefore, the aimed of this study was to evaluate the effects of cover crops on soil chemical attributes after twelve years of cultivation in corn pre-cropping. The experiment was conducted at Unesp Jaboticabal-SP, Brasil, in a red Oxisol, clayey. The experimental design was made in a randomized block, split plot with four replications. The main treatments were cover crops: sunn hemp, jack bean, lablab, millet, velvet bean gray and spontaneous vegetation. The secondary treatments were the depths of soil sampling. Soil samples were collected at the beginning of the 2012/2013 harvest, 29 days after sowing of maize, in layers 0 to 5; 5 to 10; 10 to 20; 20 to 40 and 40 to 60 cm, in which were determined the values of pH, available soil P content, exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} , total organic C (TOC), organic-C extracted in hot water (OC-Hw), total-N (Nt), organic-N extracted in hot water (NO-Hw), hot KCl-N (N-KCl), NH_4^{+} -N and NO_3^{-} -N. The cover crops did not cause variation in soil acidity and soil available P and exchangeable bases. The increase in TOC and Nt was favored by the cultivation of legumes, especially velvet bean gray. Larger amounts of N in labile forms were obtained from cultivation of legumes, particularly lablab and jack bean. The millet did not result in improvement of soil chemical attributes, even after twelve years of cultivation in corn pre-cropping.

Keywords: No-tillage, nitrogen, organic carbon, *Zea mays*.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas de cobertura antecedendo a cultura do milho pode resultar em aumento de produtividade. O efeito pode ser conseguido pelo cultivo de leguminosas fixadoras de N_2 , que reduzem a necessidade de adubo nitrogenado, ou pelo cultivo de gramíneas que, com maior relação C/N, mantêm o solo coberto por mais tempo, devido à sua decomposição mais lenta.

A manutenção do solo coberto é muito importante para diminuir perdas por erosão, evitar grandes variações de temperatura, manter a umidade, elevar a taxa de infiltração e o aumento da capacidade de retenção de água. Do ponto de vista da fertilidade do solo, um dos principais efeitos do cultivo de plantas de cobertura é o aumento do teor de matéria orgânica (MO) na camada mais superficial do solo, porque os restos de plantas que ficam sobre o solo se decompõem mais lentamente e, com isso, há tendência de acúmulo. Estatísticas indicam que o reservatório de carbono orgânico (CO) dos solos do mundo, ocupados com sistemas agrícolas, diminuíram de 25 a 75%, dependendo do clima, tipo de solo e manejo (LAL, 2011). Deste modo, cultivar plantas de cobertura é uma prática de manejo que pode devolver ao solo parte do que foi perdido ao longo de décadas de cultivo convencional, com revolvimento do solo e incorporação de restos culturais.

O sucesso na adoção de sistemas de manejo que incluem plantas de cobertura depende de condições de clima e solo regionais e, no Brasil, há mais informações sobre o funcionamento do sistema para a região Sul. No Centro-Oeste, e em alguns estados das regiões Norte e Nordeste, onde há predomínio de culturas de grãos, a adoção de plantio direto e de plantas de cobertura foi fundamental para o sucesso dos sistemas de produção. No Estado de São Paulo, devido ao predomínio da monocultura da cana-de-açúcar, plantio direto e plantas de cobertura foram pouco estudados até hoje. Predomina no Estado a ocorrência de inverno seco e, em muitos anos, há atraso no início das chuvas, o que dificulta a implantação do sistema. Deste modo, cultivar a planta de cobertura após a colheita do milho pode resultar em produção de massa muito pequena, insuficiente para formar cobertura e, nesta condição, o sistema não se estabelece de forma eficiente. A alternativa nestas regiões é o cultivo da planta de cobertura em pré-safra à cultura principal, mas

também neste sistema pode haver problemas relacionados ao atraso das chuvas, na semeadura das plantas de cobertura, e semeadura tardia da cultura principal. Apesar da dificuldade apontada, esta pode ser, em muitos casos, a única possibilidade de adoção de um sistema de manejo mais conservacionista.

Na região de Jaboticabal-SP, o inverno é seco e as chuvas têm iniciado a partir de meados de outubro ou novembro. Na FCAV-Unesp, Câmpus de Jaboticabal, foi instalado experimento em 2000/2001, para avaliar os efeitos do cultivo de plantas de cobertura, leguminosas, gramíneas e vegetação espontânea, em pré-safra à cultura do milho. No ano agrícola 2012/2013 foi feita amostragem do solo para avaliar atributos químicos após doze anos de cultivo de plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema plantio direto

O plantio direto está entre as práticas de manejo que vêm sendo difundidas com o intuito de minimizar a degradação e o desgaste do solo. Neste sistema, para a proteção e a conservação do solo, a manutenção da superfície com material vegetal, em fase vegetativa ou como resíduos, é o manejo mais adequado (ALVARENGA et al., 1995; BERTIN; ANDRIOLI; CENTURION, 2005).

A cobertura do solo com material morto representa a essência do sistema plantio direto (SPD), pois diminui o impacto das gotas de chuva no solo, melhora a estrutura do solo como consequência do aumento do teor de MO; reduz a velocidade das enxurradas; protege o solo da radiação solar; diminui a variação térmica do solo e a evaporação de água e favorece o desenvolvimento de microrganismos, além de ajudar no controle de plantas daninhas (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003).

A cobertura do solo com os restos das plantas cria um ambiente que favorece a melhora das condições físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para a estabilização da produção e a recuperação ou manutenção da qualidade do solo (MENEZES; LEANDRO, 2004).

A escolha da espécie para cobertura do solo é determinante no sucesso da implantação e manutenção do SPD. As leguminosas são preferidas como adubos verdes pela capacidade que possuem de aproveitar o nitrogênio atmosférico, pelo sistema radicular profundo, elevada produção de biomassa e relação C/N mais baixa, favorável à decomposição (SILVA et al., 2009).

De acordo com Ohland et al. (2005), o cultivo de leguminosas antecedendo o milho aumenta a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e o rendimento de grãos. No entanto, o sistema de manejo que é dado à leguminosa é importante para a melhoria dos componentes de produção da cultura do milho.

As gramíneas, por sua vez, são consideradas a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais. Elas apresentam maior volume de raízes

que as leguminosas, proporcionando melhora na porosidade e agregação do solo (IGUE, 1984). Espécies de gramíneas com relação C/N alta apresentam baixa taxa de decomposição e oferecem maior proteção ao solo durante todo o ciclo do milho (SÁ, 1996).

2.2 Plantas de cobertura

a) Crotalária

A crotalária é planta anual, arbustiva, de crescimento ereto e determinado, podendo atingir de 3,0 a 3,5 m de altura, com potencial de produção de matéria seca em torno de 15 a 20 t ha⁻¹. Entre as leguminosas, é uma das espécies de crescimento inicial mais rápido (MATEUS; WUTKE, 2006). Suas raízes são pivotantes, com capacidade de penetrar em camadas compactadas (ALVARENGA, 1993). A quantidade de N fixado por esta espécie varia de 150 a 450 kg ha⁻¹ (DERPSCH; CALEGARI, 1992; WUTKE, 1993).

A crotalária é uma espécie sensível ao fotoperíodo (AMABILE et al., 1996). Em relação ao déficit hídrico, é relativamente tolerante a seca, desde que não ocorra compactação ou adensamento do solo. Não tolera geada, pois é planta de clima tropical e subtropical. Esta leguminosa possui ciclo curto em regiões de cerrado e, quando semeada no início do período chuvoso, floresce aos 90 dias. Quando semeada no final da estação das águas floresce aos 60 dias, completando o ciclo com 120 dias (CARVALHO et al., 1999).

b) Feijão-de-porco

O feijão-de-porco é planta anual ou bianual de origem tropical, adaptada a clima seco e que suporta longos períodos sem ocorrência de chuva (CALEGARI et al., 1993). O crescimento é ereto e a planta é herbácea, com altura de dossel ao redor de 0,8 a 1,0 m, e o seu potencial produtivo varia de 5 a 8 t ha⁻¹ de matéria seca. O nitrogênio total acumulado pelo feijão-de-porco, quando cultivado no período chuvoso em áreas do cerrado do Distrito Federal, foi de 231 kg ha⁻¹. Deste total, 181 kg ha⁻¹ de N, representando 79% do total, foram provenientes da fixação biológica, e a taxa de fixação biológica foi de 1,47 kg ha⁻¹ de N por dia (CARSKY, 1989). De acordo com Derpsch e Calegari (1992) e Wutke (1993) a quantidade de N fixado pelo feijão-de-porco é de 49 a 190 kg ha⁻¹.

c) Lablab

O lablab é planta anual ou bianual, trepadora e de hábito de crescimento indeterminado. Apresenta ampla adaptação, é tolerante às geadas, pode atingir altura de 0,5 a 1,0 m e tem potencial de produção de matéria seca de 5 a 7 t ha⁻¹ (WUTKE, 1993; FAHL et al., 1998). Esta planta fixa de 66 a 180 kg ha⁻¹ de N (DERPSCH; CALEGARI, 1992; WUTKE, 1993).

d) Mucuna-cinza

A mucuna-cinza apresenta ciclo anual superior a 150 dias, robusta, bastante agressiva, trepadora, de crescimento inicial rápido e vigoroso, e altura de 1,0 a 1,5 m. É resistente à seca, adaptada aos solos ácidos e tem potencial produtivo de até 9 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea (CALEGARI, 1992; WUTKE, 1993), fixa em torno de 170 a 210 kg ha⁻¹ de N (DERPSCH; CALEGARI, 1992; WUTKE, 1993). Apresenta raiz pivotante, com raízes secundárias horizontais mais frequentes na superfície, alcançando comprimento médio de 50 cm, mas com algumas raízes atingindo mais de um metro (CALEGARI et al., 1993). Essa espécie é considerada má hospedeira/não multiplicadora dos nematoides de galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*) (WUTKE, 1993) e também do nematoide do cisto (*Heterodera* spp.).

e) Milheto

O milheto é planta anual, de clima tropical, apresenta crescimento ereto e porte alto. Apresenta capacidade de produzir grãos em condições extremamente secas e em solos de baixa e média fertilidade; todavia, tem boa resposta a adubações em solos com maior capacidade de troca de cátions (CTC) e com boa disponibilidade hídrica. O ciclo da planta é de aproximadamente 130 dias, dependendo da época de semeadura e variedade (CARVALHO; AMABILE, 2006).

O milheto utiliza os nutrientes que estão abaixo da camada arável, devido suas raízes vigorosas e abundantes (BONAMIGO, 2003). Sua produção de biomassa e a quantidade de nutrientes reciclados variam de acordo com as condições edafoclimáticas, época de semeadura e o tempo de cultivo (ALVARENGA et al., 2001). A produção de matéria seca chega a variar de 7 a 13 t ha⁻¹ (UEMURA; URBEN FILHO; NETTO, 1997; MURAISHI et al., 2005).

2.3 Transformações e formas de C e N no solo

A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio (C/N) do tecido, sendo que as leguminosas possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas, por terem menor relação C/N. A relação C/N é bastante variável entre as plantas de cobertura do solo. Nas leguminosas ela está compreendida entre 20/1 e 30/1 (KIEHL, 2001); nas palhas de gramíneas varia entre 50/1 e 200/1, e Silva et al. (2009) citam que a palha do milho pode ter relação C/N de até 71/1 ao final do ciclo.

A relação C/N reflete na intensidade de imobilização de N, que é a principal causa da menor disponibilidade de N às plantas no SPD, em relação ao sistema convencional (SALET et al., 1997).

A aplicação de N mineral em pré-semeadura do milho, embora represente uma prática de risco, promove aumento no teor de N no solo, após o manejo das plantas de cobertura (BASSO; CERETTA, 2000), o que também pode influenciar na taxa de decomposição de resíduos vegetais. Como a população e a atividade dos microrganismos decompositores são influenciadas pela quantidade de N do solo, com o aumento na disponibilidade de N a taxa de decomposição será favorecida (AITA, 1997). Mary et al. (1996) observaram que a decomposição de resíduos de plantas em solos com baixas concentrações de N mineral diminui, embora não seja inibida completamente.

A deficiência de N está entre os fatores relacionados às baixas produtividades de milho, sobretudo porque o N é o nutriente mais exigido e exportado pela cultura (FERNANDES et al., 1999).

Em anos nos quais as condições climáticas são favoráveis à cultura do milho, a quantidade de N requerida para aumentar a produtividade de grãos pode ultrapassar 150 kg ha⁻¹. Como a quantidade de N exigida é muito grande, ela normalmente não é suprida exclusivamente pelo solo, e o fornecimento exclusivo pelo fertilizante industrial aumenta o custo de produção e pode, ao longo do tempo, comprometer a qualidade do ambiente. Deste modo, o uso combinado de plantas de cobertura e fertilizantes industriais pode ser a forma mais eficiente de manejar o sistema em longo prazo e, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a cultura de cobertura antecessora já é um dos critérios para a recomendação de

adubação nitrogenada para o milho em sistema plantio direto (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002).

A dinâmica do N em solos cultivados com plantas de cobertura sofre alterações importantes devido a uma combinação de efeitos. Com o cultivo de plantas de cobertura é possível a recolocação de nutrientes que estavam sendo perdidos do sistema, à disposição da cultura principal, uma vez que as plantas de cobertura absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial, pela decomposição dos seus resíduos (DUDA et al., 2003). Neste caso, a capacidade elevada de absorção de N das gramíneas constitui estratégia importante para reduzir os riscos de contaminação do lençol freático com nitrato e aumentar a ciclagem de N durante a entressafra das culturas comerciais (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Por outro lado, com a decomposição dos resíduos das leguminosas, o N orgânico, proveniente da fixação biológica, é mineralizado e absorvido pela cultura em sucessão, reduzindo assim, as quantidades de fertilizante nitrogenado industrial utilizado nas culturas comerciais (AITA et al., 2001).

A maior parte dos efeitos do uso de plantas de cobertura no ciclo do N decorre do aumento do teor de CO do solo. Simultaneamente ao aumento do teor de CO há aumento no teor total de N (Nt) (VILLAMIL et al., 2006), o que reduz as perdas para o meio ambiente (REICOSKY; FORCELLA, 1998). A diminuição das perdas decorre da alteração na dinâmica do N no solo, principalmente no processo de mineralização, na eficiência de aproveitamento de fertilizantes pelas plantas e na sua movimentação para as camadas mais profundas do solo, o que resulta em aumento da produtividade das culturas (VASCONCELLOS et al., 2001).

A utilização de culturas de cobertura e a adubação mineral podem aumentar os estoques de N orgânico (SAINJU; WHITEHEAD; SINGH, 2005), e o aumento vai ser dependente ainda do sistema de cultivo empregado. Há relatos de aumentos nos teores superficiais de MO do solo (0-7,5 cm), maior imobilização de N pela biomassa microbiana, maior eficiência na utilização do fertilizante nitrogenado e produtividade de matéria seca da parte aérea de milho em sistemas sem revolvimento do solo (FERNANDES et al., 1999).

O plantio direto, a adubação nitrogenada e as culturas de cobertura podem interagir para aumentar os teores de CO e Nt. Enquanto o plantio direto conserva ou mantém o CO e o Nt, reduzindo a taxa de decomposição do resíduo, a adubação nitrogenada aumenta a produtividade e, assim, a entrada de C e N no solo (MCVAY; RADCLIFFE; HARGROVE, 1989; HAVLIN et al., 1990; FRANZLUEBBERS; HONS; ZUBERER, 1995; KUO; SAINJU; JELLUM, 1997; SAINJU; SINGH; WHITEHEAD, 2002).

Para avaliar os efeitos isolados e combinados da adubação nitrogenada e das plantas de cobertura no conteúdo de CO e Nt em experimento de longo prazo iniciado em 1993 em solo franco na Itália central, Mazzoncini et al. (2011) notaram que de 1993 a 2008, no sistema plantio direto, o conteúdo de CO e Nt na parte superior do solo (30 cm de profundidade) aumentou em 610 e 40 kg ha⁻¹ por ano, respectivamente. No mesmo período, o teor de CO e Nt sob o sistema de cultivo convencional diminuiu à taxa de 60 e 40 kg ha⁻¹ por ano, respectivamente.

Medidas do CO e do Nt, embora relevantes do ponto de vista de verificação dos efeitos de longo prazo da adoção do cultivo de plantas de cobertura e para a seleção de espécies mais adequadas, não são eficientes para detectar variações de curto prazo, que estejam mais associadas com a atividade microbiana e a disponibilização de N para as plantas.

Uma das medidas que vêm sendo usadas há mais tempo para verificação dos efeitos mais imediatos do sistema de manejo na dinâmica do N é o N potencialmente mineralizável, extraído com solução salina sob aquecimento. Franzluebbbers, Hons e Zuberer (1994) constataram, em áreas em plantio direto, teores de N potencialmente mineralizável 45% maiores do que em áreas em plantio convencional, na camada de 0 a 20 cm. Needelman et al. (1999) avaliaram o impacto do sistema de cultivo no N orgânico lábil depois de pelo menos 5 anos, em 36 campos em Illinois, e observaram que o cultivo não teve efeito significativo no N potencialmente mineralizável quando calculado para 0 a 30 cm de profundidade, mas nas áreas em plantio direto havia 54% mais N potencialmente mineralizável na camada de 0 a 5 cm em comparação com os sistemas convencionais de plantio.

Nas áreas em plantio direto há produção contínua de compostos orgânicos de baixa massa molecular (PAVINATO; ROSOLEM, 2008), que são o principal

substrato que sustenta a atividade microbiana. Assim, extração do carbono orgânico e do nitrogênio orgânico solúveis em água (COD, NOD) nestes sistemas pode ser ferramenta útil para previsão das taxas de produção de N-mineral nos solos cultivados com plantas de cobertura que, juntamente com outras variáveis, como o N potencialmente mineralizável e o N-mineral do solo, poderão ser utilizadas para melhorar a recomendação de N para as culturas principais.

Segundo Haney et al. (2012), as variáveis CO e COD definem, respectivamente, quantidade e qualidade do substrato disponível para os microrganismos. De acordo com os autores, caracterizar quantidade x qualidade do CO é importante para melhorar a sensibilidade de previsão da ciclagem de nutrientes que é comandada pelo ciclo do C. Com o emprego do COD, do NOD e da liberação de C-CO₂ em 24 horas, os autores consideram possível levar em conta uma fonte de N que pode ser facilmente subtraída das recomendações de adubação e que terá duplo efeito: diminuição dos custos dos insumos devido à menor entrada de fertilizantes, e diminuição da entrada de N no solo que está sujeito à perda por erosão, lixiviação e desnitrificação e que acabará por afetar a qualidade da água potável e dos corpos d'água, tanto de água doce quanto de água salgada

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Histórico do experimento

O experimento está instalado na área experimental da FCAV-Unesp-Jaboticabal-SP, localizada a 21°15'22" de latitude Sul e 48°16'43" de longitude Oeste. O clima é subtropical úmido com estiagem no inverno, classificado como Cwa pelo Sistema Internacional de Classificação de Koppen. A precipitação pluvial anual média é de 1.424,6 mm e a temperatura média é 22,2°C (Estação Agroclimatológica, UNESP-Jaboticabal). O solo do local é Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa típico (ANDRIOLI; CENTURION, 1999).

A área onde está instalado o experimento vem sendo cultivada em plantio direto desde a safra 1998/99. No segundo semestre de 2000 iniciou-se experimento utilizando plantas de cobertura, em pré-safra a cultura do milho. A caracterização química e a granulometria do solo nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento, está apresentada na Tabela 1. Os métodos utilizados nas análises químicas e na determinação da granulometria estão descritos em Rajj et al. (2001) e Camargo et al. (2009), respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo da área do experimento, 2000/2001.

Prof. cm	P resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	CTC	V	Argila	Silte	Areia
				----- mmol _c dm ⁻³ -----					%	----- g kg ⁻¹ -----		
0-20	58	20	4,5	3,1	13	6	47	69	32	474	27	499
20-40	12	15	4,3	2,0	10	4	42	58	28	497	22	481
40-60	7	13	4,5	1,2	9	4	34	48	29	504	29	467

O delineamento do experimento é em blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos principais são as culturas de cobertura em pré-safra à cultura do milho: crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-deporco (*Canavalia ensiformis*), lablab (*Dolichos lablab* L.), milheto (*Pennisetum americanum*), mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*) e vegetação espontânea (pousio). Os tratamentos secundários são quatro doses de N em cobertura na cultura do milho (0,

60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N). As parcelas apresentam área total de 126 m² (18 m x 7 m) e as subparcelas de 31,5 m² (4,5 m x 7 m).

Em todos os anos (de 2000/2001 a 2012/2013), as plantas de cobertura foram semeadas em setembro ou outubro e dessecadas em dezembro ou janeiro e, em seguida, foi feita a semeadura do milho. As plantas de cobertura não são adubadas e, em todos os anos, a adubação de semeadura do milho foi comum a todos os tratamentos.

Na safra 2012/2013, as culturas de cobertura foram semeadas em sistema plantio direto, sem adubação de semeadura, em 19-10-2012. Todas as espécies foram semeadas com espaçamento de 0,50 m nas entrelinhas, e a quantidade de sementes por metro linear foi de 9; 9; 12; 8 e 20 para mucuna-cinza, crotalária, lablab, feijão-de-porco e milheto, respectivamente.

A dessecação química das plantas de cobertura ocorreu no dia 07-01-2013. No dia 08-01-2013 foi feita a semeadura do milho (híbrido BM 840 Pró), com espaçamento de 0,90 m nas entrelinhas, totalizando cerca de 55.500 plantas ha⁻¹. A adubação de semeadura foi feita com 28 kg ha⁻¹ de N, 98 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 56 kg ha⁻¹ de K₂O (350 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16).

As amostras de solo nas quais foram avaliados os efeitos das plantas de cobertura em atributos químicos do solo foram coletadas nas subparcelas sem N (em cobertura) das parcelas cultivadas com as plantas de cobertura e com vegetação espontânea. As profundidades de coleta das amostras foram 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm. A coleta foi feita 30 dias após a dessecação das plantas de cobertura, na safra 2012/2013. Para a formação da amostra composta foram coletadas 10 subamostras nas entrelinhas da cultura.

3.2 Métodos de determinação dos atributos do solo – safra 2012/2013

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações dos valores de pH e dos teores de: P disponível; K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis; C-orgânico total (CO) e C-orgânico extraído em água quente (CO-Aq); N-total (Nt), N-orgânico extraído em água quente (NO-Aq), N-KCl a quente (N-KCl), N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e, por cálculo, foi obtido o N-mineral (N-min=N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻).

O valor de pH foi determinado em solução de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, de acordo com Quaggio e Raij (2001). P disponível, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis foram extraídos com resina trocadora de íons, seguindo os métodos de Raij e Quaggio (2001). As formas de C e N foram determinadas empregando os procedimentos descritos a seguir.

a) **Carbono orgânico total (CO):** Foi empregado método volumétrico de Walkley e Black (1934), conforme descrição apresentada em Cantarella, Quaggio e Raij (2001), no qual é feita oxidação do carbono a CO_2 por íons dicromato. Para erlenmeyer com capacidade para 250 mL foram transferidos 1 cm^3 de solo, 10 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 20 mL de H_2SO_4 concentrado. Após agitação manual por 1 min a amostra permaneceu resfriando durante 30 min. Ao final do repouso foram adicionados 200 mL de água desionizada e a suspensão foi filtrada, recebendo o filtrado em erlenmeyer de 500 mL. Ao filtrado foram adicionados 10 mL de H_3PO_4 concentrado e 4 gotas de solução de difenilamina 10 g L^{-1} . Após homogeneização, a amostra foi titulada com solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0,4 \text{ mol L}^{-1}$.

b) **Carbono orgânico em água quente (CO-Aq):** A extração do CO-Aq foi feita segundo Sparling, Vojvodic-Vukovic e Schipper (1998). Para tubos de centrífuga de 50 mL foram transferidos $2,5 \text{ cm}^3$ de solo e 25 mL de água desionizada e a suspensão foi mantida em banho-maria a 70°C por 18 horas. A suspensão foi centrifugada por 10 min a 2.500 rotações por minuto e, para erlenmeyers de 125 mL foram transferidos 10 mL do sobrenadante, aos quais foram adicionados 1 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0835 \text{ mol L}^{-1}$ e 2 mL de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram mantidas em chapa aquecedora por 30 min a 140°C e, para evitar redução de volume, foi colocado um funil pequeno na boca do erlenmeyer. Após resfriamento do extrato foi feita adição de 20 mL de água desionizada e 1 mL de H_3PO_4 concentrado, seguindo-se titulação com solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$, usando solução de difenilamina 10 g L^{-1} como indicador.

c) **Nitrogênio total (Nt):** O Nt foi determinado segundo Tedesco et al. (1995). Neste método, o N orgânico é convertido em NH_4^+ por digestão sulfúrica e o NH_4^+ é determinado, após conversão a NH_3 em meio alcalino e destilação, por titulação com solução de H_2SO_4 . Amostra de 0,1 g de solo passada em peneira de

60 mesh (0,25 mm) foi transferida para tubo de digestão, ao qual foram adicionados 1 mL de H_2O_2 300 mL L^{-1} e 7 mL de mistura digestora (H_2SO_4 concentrado, água desionizada, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, SeO_2 e Na_2SO_4). Após digestão a frio por uma noite, foi feita digestão em bloco digestor, iniciando a 100°C por 30 min. A cada 30 min a temperatura foi aumentada em 50°C até atingir 300°C e, depois, 330°C , na qual permaneceu por 2 horas. Após clareamento e resfriamento do extrato (solo + H_2O_2 + mistura digestora), ele foi transferido para tubo de destilação com auxílio de 20 mL de água desionizada. Na destilação, o N-NH_4^+ produzido na digestão foi convertido a N-NH_3 com a adição de 15 mL de solução de NaOH 10 mol L^{-1} , sendo coletados, aproximadamente, 20 mL do destilado em solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} + indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). A quantificação do N foi feita por titulação com solução de H_2SO_4 0,02 mol L^{-1} .

d) Nitrogênio orgânico dissolvido (NO-Aq): A extração foi feita segundo Sparling, Vojvodic-Vukovic e Schipper (1998), simultaneamente à extração de CO-Aq, conforme descrito no item b. Após a centrifugação, 10 mL do extrato foram transferidos para tubos de digestão, aos quais foi adicionado 1 mL de mistura digestora (H_2SO_4 concentrado, água desionizada, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, SeO_2 e Na_2SO_4). Os procedimentos de digestão e de quantificação de N nos extratos foram os mesmos descritos para Nt, mas neste caso empregou-se solução de H_2SO_4 0,00125 mol L^{-1} na titulação. Para obtenção do NO-Aq foi subtraído, do valor determinado, o N-NH_4^+ extraído a frio, com solução de KCl 1 mol L^{-1} (item f).

e) N-KCl a quente (N-KCl): A extração foi feita em tubos de digestão, para os quais foram transferidos 2,5 cm^3 de solo e 20 mL de solução de KCl 2 mol L^{-1} , seguindo o procedimento proposto por Gianello e Bremner (1986). Durante o aquecimento em bloco digestor a 100°C por 4 horas, os tubos foram mantidos tampados com rolhas de borracha fixadas com fita adesiva. Após o aquecimento os tubos contendo as amostras foram resfriados em água corrente, adicionou-se 0,2 g de MgO com medida calibrada, para conversão de N-NH_4^+ a N-NH_3 , e o tubo foi imediatamente colocado na entrada do destilador de N. O N-NH_3 liberado foi coletado em erlenmeyer de 125 mL contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} mais indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). Na destilação foram

coletados cerca de 40 mL de destilado em 4 a 5 min, e a quantificação de N-NH_4^+ foi feita por titulação com solução de H_2SO_4 $0,005 \text{ mol L}^{-1}$.

f) **N-NH_4^+ e N-NO_3^-** : O procedimento usado está descrito em Cantarella e Trivelin (2001) e está baseado na extração das formas inorgânicas de N com solução de KCl 1 mol L^{-1} , seguida de destilação por arraste de vapores e quantificação por meio de titulação. Para erlenmeyer com capacidade para 250 mL foram transferidos 5 cm^3 de solo e 50 mL de solução de KCl 1 mol L^{-1} . A suspensão foi agitada por 60 min em agitador com movimento circular-horizontal. Após a agitação, foram aguardados 90 min de repouso para decantação e alíquota de 30 mL do sobrenadante foi transferida para tubos de destilação com entrada lateral fechada com tampa de rosca. Na destilação, após encaixe do tubo ao destilador, adicionou-se 0,2 g de MgO p.a. por meio da entrada lateral, usando medida calibrada. Na saída do condensador do destilador foi colocado erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} + indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila) e foi feita a destilação até obter 50 mL do destilado, em aproximadamente 5 min. Em seguida, outro erlenmeyer com capacidade para 125 mL contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 + indicadores foi colocado na saída do condensador, e 0,2 g de liga de Devarda foi adicionado pela entrada lateral do tubo, com auxílio de medida calibrada, para redução do N-NO_3^- a N-NH_3 . Fez-se nova destilação, coletando 50 mL de destilado. A quantificação do N foi feita por titulação com solução de H_2SO_4 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$.

3.3 Forma de análise dos resultados

Os dados obtidos foram analisados segundo delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições.

As plantas de cobertura foram consideradas os tratamentos principais e as profundidades de coleta das amostras os tratamentos secundários. Foi feita análise de variância pelo teste F e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram também calculadas correlações entre as variáveis avaliadas. O desdobramento das interações plantas de cobertura x profundidades foi feito mesmo quando a interação não foi significativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Valores de pH

O cultivo de espécies de leguminosas e gramíneas em cobertura não levaram a variação nos valores de pH. O efeito observado foi o de profundidade do solo, o que é esperado (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de pH em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof.	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
cm	pH					
0-5	5,9 a ¹	5,5 a	5,5 a	5,7 a	5,4 a	5,8 a
5-10	4,9 b	4,8 b	4,9 b	5,0 b	4,9 b	5,2 b
10-20	4,4 c	4,5 b	4,6 b	4,4 c	4,5 c	4,6 c
20-40	4,5 c	4,6 b	4,7 b	4,4 c	4,5 c	4,6 c
40-60	4,6 c	4,8 b	4,7 b	4,6 c	4,7 bc	4,8 c
		Teste F			CV (%)	
Blocos		5,77 ^{**}				
Planta de cobertura (PC)		0,41 ^{ns}			10,25	
Profundidade (Prof.)		192,57 ^{**}			3,33	
PC x Prof.		2,35 ^{**}				

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Na camada de 0-5 cm a acidez do solo variou entre média e baixa (Tabela 2), segundo os critérios de Raij et al. (1996). Com o aumento da profundidade os valores de pH diminuíram, mas abaixo de 10 cm já não houve mais variação. Resultados semelhantes foram relatados por Correia e Durigan (2008) ao avaliarem a influência do cultivo de culturas de cobertura na fertilidade do solo, após dois anos sob SPD, ou seja, houve diferença entre as profundidades apenas nas primeiras camadas do solo. Este comportamento em função da profundidade é explicado pela aplicação de calcário em superfície e pelo efeito da presença da cobertura morta. A deposição de resíduos vegetais sobre o solo pode promover o aumento do pH na camada superficial pela troca dos íons H⁺ e Al³⁺, por Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e outros compostos presentes no resíduo vegetal, ou por complexação de Al³⁺, o que resulta em aumento da saturação por bases e do pH do solo (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004).

4.2 Fósforo disponível

As plantas de cobertura não causaram variação significativa no teor de P disponível do solo. Como observado para os valores de pH, a diferença ocorreu em função da profundidade, com diminuição, no caso do P, abaixo de 20 cm. No local do experimento o sistema plantio direto foi implantado em 1999/2000 e as arações anuais usadas no sistema convencional resultaram em mistura do adubo fosfatado aplicado na camada de 0-20 cm. Os teores de P estavam altos na camada de 0-20 cm, com teor maior na camada de 5-10 em relação à de 0-5 cm, devido a profundidade de distribuição do adubo na semeadura. Na camada de 20-40 cm os teores estavam médios e somente na camada de 40-60 cm estavam baixos (Tabela 3). O critério de interpretação de teores é o de Raij et al. (1996).

Tabela 3. Fósforo disponível do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
-----P, mg dm ⁻³ -----						
0-5	75 a ¹	49 a	44 ab	34 ab	40 ab	50 a
5-10	79 a	52 a	51 a	55 a	54 a	47 ab
10-20	67 a	44 ab	41 ab	36 ab	52 a	51 a
20-40	27 b	18 ab	20 ab	14 b	23 ab	35 ab
40-60	11 b	10 b	12 b	10 b	10 b	11 b
		Teste F		CV (%)		
Blocos		12,08**				
Plantas de cobertura (PC)		0,87 ^{ns}		96,80		
Profundidade (Prof.)		26,10**		49,96		
PC x Prof.		0,61 ^{ns}				

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

O uso de plantas de cobertura e outras práticas de manejo que visam manter ou aumentar os teores de MO no solo, podem beneficiar o aproveitamento de P pelas plantas (ALMEIDA; TORRENT; BARRÓN, 2003). A presença da palha e o maior teor de MO no sistema plantio direto propiciam ambiente menos oxidativo, minimizando as reações de adsorção e promovendo impacto direto na fertilidade das camadas superficiais, até 10 cm de profundidade (COSTA, 2000). Na área do experimento, a constatação destes efeitos é difícil porque o solo apresenta teor alto

de P e a desuniformidade da área é muito grande (Tabela 3) devido à adubação e ao não revolvimento do solo. Admite-se, no entanto, que plantas são fundamentais na solubilização do P através da exsudação de compostos na rizosfera, inclusive de ácidos orgânicos que agem na dissolução de compostos que podem resultar em aumento no P-solução (CHIEN; MENON, 1995).

4.3. Bases trocáveis

Não houve efeito das plantas de cobertura para o teor de Ca^{2+} trocável no solo. Em todos os tratamentos os teores estavam altos (RAIJ et al., 1996) até, no mínimo, 10 cm de profundidade. Na camada de 0-5 cm foram encontrados os maiores teores de Ca^{2+} , e com o aumento da profundidade eles diminuíram. A diminuição da camada de 0-5 cm para a de 5-10 cm foi de 50 a 60%, e a redução foi menor com o aumento da profundidade (Tabela 4). Este efeito está associado à aplicação superficial de calcário.

Tabela 4. Cálcio trocável do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
----- Ca^{2+} , mmol _c dm ⁻³ -----						
0-5	22,50 a ¹	20,75 a	26,00 a	22,50 a	21,25 a	23,50 a
5-10	11,75 b	12,75 b	13,50 b	13,00 b	12,00 b	13,00 b
10-20	8,00 bc	8,50 bc	9,25 bc	6,50 c	7,75 bc	8,25 c
20-40	7,00 c	7,25 c	8,75 c	6,00 c	7,75 bc	8,75 bc
40-60	7,50 bc	8,00 c	7,50 c	7,00 c	7,25 c	9,75 bc
			Teste F	CV (%)		
Blocos			17,82**			
Plantas de cobertura (PC)			0,44 ^{NS}	47,81		
Profundidade (Prof.)			208,61**	18,68		
PC x Prof.			0,71 ^{NS}			

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Na camada de 0-60 cm, nas parcelas com vegetação espontânea e nas cultivadas com crotalária, feijão-de-porco, lablab, mucuna e milho, 39%; 36%; 40%; 41%; 38% e 37% do Ca^{2+} trocável estavam concentrados nos primeiros 5 cm, respectivamente.

Na camada de 0-5 cm houve efeito das plantas de cobertura no teor de Mg^{2+} trocável do solo, com maior teor nas parcelas cultivadas com milheto, lablab, crotalária e vegetação espontânea, enquanto que nas parcelas com mucuna e feijão-de-porco foram obtidos os menores teores. Nas demais camadas não foram verificados efeitos das plantas de cobertura (Tabela 5).

Tabela 5. Magnésio trocável do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
----- Mg^{2+} , $mmol_c dm^{-3}$ -----						
0-5	13,50 Aba ¹	13,75 ABa	11,50 Ba	13,25 ABa	11,75 Ba	16,25 Aa
5-10	6,75 Ab	8,75 Ab	6,25 Ab	7,25 Ab	6,75 Ab	8,75 Ab
10-20	3,50 Ac	4,75 Ac	4,50 Abc	3,50 Ac	4,50 Abc	4,75 Ac
20-40	2,75 Ac	3,25 Ac	3,75 Abc	3,00 Ac	4,00 Abc	3,75 Ac
40-60	3,50 Ac	3,75 Ac	3,25 Ac	3,25 Ac	3,75 Ac	4,25 Ac
			Teste F	CV (%)		
Blocos			9,84**			
Plantas de cobertura (PC)			1,04 ^{ns}	45,06		
Profundidade (Prof.)			197,80**	22,79		
PC x Prof.			1,24 ^{ns}			

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

O Mg^{2+} estava concentrado nas camadas superficiais do solo, em torno de 65%. Abaixo dos 10 cm houve diminuição de 6,25 a 12,25 $mmol_c dm^{-3}$ em relação aos 10 cm superiores e este efeito é também decorrente da aplicação superficial do calcário. Os teores estavam altos na camada de 0-5 cm, médios ou altos entre 5 e 10 cm e, abaixo de 10 cm, predominaram teores baixos segundo os critérios de Raji et al. (1996).

Não houve efeito significativo das plantas de cobertura no teor de K^+ trocável. Na camada de 0-5 cm os teores estavam altos, nas de 5-10 e 10-20 cm estavam médios, e abaixo dos 20 cm, os teores estavam entre médio e baixo (RAIJ et al., 1996). O K^+ trocável estava mais concentrado nas camadas superiores e o seu teor no solo foi diminuindo com o aumento da profundidade (Tabela 6).

De modo geral os nutrientes contidos nos restos vegetais são mineralizados de maneira semelhante à MO do solo, porém o K não segue este padrão de mineralização, pois é liberado no solo mesmo não ocorrendo a decomposição

completa do tecido vegetal (ROSOLEM et al., 2006). Por ser absorvido em grandes quantidades pelas plantas e não ser constituinte estrutural de moléculas e tecidos, ele é extraído com relativa facilidade dos resíduos de plantas de cobertura, sem que haja, necessariamente, mineralização biológica. Deste modo, o cultivo das plantas de cobertura pode aumentar a eficiência de reciclagem do K^+ , assim como das demais bases, mas no caso do K a liberação e o reaproveitamento são mais rápidos.

Tabela 6. Potássio trocável do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
----- K^+ , mmol _c dm ⁻³ -----						
0-5	4,80 a ¹	4,57 a	4,60 a	5,02 a	3,60 a	4,55 a
5-10	2,47 b	2,30 b	2,55 b	2,92 b	1,75 b	3,55 b
10-20	1,60 bc	1,87 bc	2,05 bc	2,35 bc	1,17 b	2,65 bc
20-40	1,32 c	1,55 bc	1,70 bc	1,62 cd	1,07 b	1,92 cd
40-60	1,15 c	1,35 c	1,35 c	1,17 d	1,00 b	1,52 d
			Teste F	CV (%)		
Blocos			4,22*			
Plantas de cobertura (PC)			1,08 ^{ns}	69,18		
Profundidade (Prof.)			191,13**	19,49		
PC x Prof.			1,32 ^{ns}			

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

4.4. Formas de C e N

Nos primeiros 5 cm, o cultivo de mucuna-cinza resultou nos maiores teores de CO, e com o de lablab, milheto e vegetação espontânea foram obtidos os menores teores (Tabela 7). A diferença entre as coberturas mucuna e lablab foi de 3,5 g dm⁻³ de CO, ou 23%. Excluindo o lablab e considerando a média das outras três leguminosas, o aumento do teor de CO em relação à vegetação espontânea foi de 2,4 g dm⁻³ (16%). Abaixo dos 5 cm, nas camadas de 5-10 e 40-60 cm, não houve diferença de efeito entre as plantas de cobertura e, nas demais camadas, o efeito obtido em 0-5 cm não se repetiu, de modo que, entre 10-20 cm os maiores teores de CO ocorreram com cultivo das leguminosas e com a vegetação espontânea, e entre 20-40 cm, nas parcelas com vegetação espontânea (Tabela 7).

Além de não ter resultado em aumento significativo no CO em relação à vegetação espontânea (Tabela 7), o cultivo de milheto resultou nos menores teores

de CO abaixo de 20 cm. Este resultado contraria a expectativa porque o milho apresenta produção alta de matéria seca (10 t ha^{-1}) (LIMA et al., 2005), na qual tem-se relação C/N alta e alto teor de lignina, o que contribui para o aumento ou manutenção de teores de CO no solo (KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013). Ainda, considerando que o acúmulo de CO nos 5 cm superficiais resulta dos processos de transformação da parte aérea das plantas e das raízes concentradas na camada e que, o que está abaixo de 5 cm é derivado de raízes, exsudatos radiculares e CO solúvel lixiviado das camadas anteriores, o milho, por apresentar sistema radicular fasciculado, mais profundo e ramificado do que as leguminosas de cobertura avaliadas, deveria levar a maior acúmulo de CO também abaixo de 5 cm. A explicação para o resultado pode estar na entrada de N, que nas parcelas avaliadas foi limitada à adubação de sementeira do milho e à precipitação pluvial. Isso pode levar a menor fixação do C das plantas na MO estável do solo, por falta de N.

Tabela 7. Carbono orgânico do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
-----Carbono orgânico total, g dm^{-3} -----						
0-5	15,50 Ca ¹	17,75 ABa	17,25 ABa	15,25 Ca	18,75 Aa	16,75 BCa
5-10	11,25 Ab	12,50 Ab	12,50 Ab	12,25 Ab	11,50 Ab	11,75 Ab
10-20	10,00 ABb	10,50 ABc	11,00 Ab	11,00 Ab	10,50 ABbc	9,25 Bc
20-40	10,00 Ab	9,50 ABcd	8,50 ABCc	8,25 BCc	9,00 ABCcd	7,75 Ccd
40-60	8,25 Ac	8,00 Ad	8,75 Ac	7,75 Ac	7,75 Ad	7,25 Ad
			Teste F		CV (%)	
Blocos			10,00**			
Plantas de cobertura (PC)			11,38**		5,31	
Profundidade (Prof.)			508,66**		6,83	
PC x Prof.			4,22**			

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Independente da planta de cobertura, o CO do solo estava mais concentrado nos 5 cm superficiais (Tabela 7), efeito esperado devido à maior deposição de biomassa das plantas de cobertura e do milho em superfície. O CO diminuiu, em média, $4,9 \text{ g dm}^{-3}$ (29%) entre 0-5 cm e 5-10 cm. Com o cultivo de mucuna houve a maior diminuição entre as camadas, ou seja, $7,25 \text{ g dm}^{-3}$ de CO (39%), indicativo de que, com esta espécie, há favorecimento de formação de MO a partir da parte aérea

e menor participação das raízes, inclusive porque não houve diferença entre mucuna e vegetação espontânea na camada de 5-10 cm (Tabela 7). Abaixo de 10 cm a diminuição média no CO foi de 1,6; 1,5 e 0,9 g dm⁻³, respectivamente entre 10-20, 20-40 e 40-60 cm. As diferenças no CO do solo em relação às plantas de cobertura nestas camadas diminuíram e, embora tenha ocorrido significância estatística em alguns casos, não houve relação com os efeitos observados nas camadas superiores (Tabela 7).

Os efeitos das plantas de cobertura no CO do solo refletiram no Nt, de modo que na camada de 0-5 cm, os maiores teores de Nt foram obtidos com cultivo de mucuna e feijão-de-porco e os menores com milho e vegetação espontânea (Tabela 8). O cultivo de crotalária resultou em teores de Nt 0,13 g kg⁻¹ menores do que o cultivo de mucuna, com diferença significativa entre as plantas, o que não havia ocorrido em relação ao CO. A diferença entre mucuna e vegetação espontânea foi de 0,23 g kg⁻¹ e a diferença entre o teor médio das parcelas com leguminosas e a vegetação espontânea foi de 0,16 g kg⁻¹. Na camada de 5-10 cm, as diferenças entre as plantas de cobertura diminuíram e, entre lablab e vegetação espontânea, tratamentos com maior e menor teor de Nt, a variação foi de 0,17 g kg⁻¹. Os maiores efeitos das plantas de cobertura no Nt ocorreram nos primeiros 10 cm, o que também foi observado por Alcântara et al. (2000), quando empregaram guandu, crotalária e braquiária na recuperação de um Latossolo Vermelho. Nas profundidades abaixo de 10 cm, as variações entre plantas diminuíram ainda mais e, como aconteceu com o CO, não guardaram relação com o que ocorreu na camada superior. De qualquer modo, em todas as camadas do solo avaliadas, nas parcelas cultivadas com leguminosas os teores de Nt foram maiores, exceto na camada de 10-20 cm na qual o milho apresentou teor semelhante (Tabela 8), o que reflete a entrada de N via fixação simbiótica.

Tabela 8. Nitrogênio total do solo, em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof.	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
cm	-----N-total, g kg ⁻¹ -----					
0-5	1,09 Ca ¹	1,19 Ba	1,26 ABa	1,22 Ba	1,32 Aa	1,17 BCa
5-10	0,76 CDb	0,88 ABb	0,75 Db	0,93 Ab	0,85 ABCb	0,79 BCDb
10-20	0,64 ABc	0,69 Ac	0,57 Bc	0,65 ABc	0,61 ABc	0,63 ABc
20-40	0,63 Ac	0,65 Ac	0,61 Ac	0,59 Ac	0,61 Ac	0,58 Ac
40-60	0,52 ABd	0,52 ABd	0,55 Ac	0,49 ABd	0,53 ABc	0,45 Bd
			Teste F		CV (%)	
Blocos			8,84**			
Planta de cobertura (PC)			7,79**		5,72	
Profundidade (Prof.)			933,07**		5,85	
PC x Prof.			5,38**			

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Assim como para o CO, os maiores teores de Nt do solo ocorreram nos primeiros 5 cm (Tabelas 7 e 8) e o mesmo padrão de distribuição do CO nas camadas avaliadas foi obtido para o Nt. Este comportamento é esperado e foi também relatado por Souza e Melo (2000) e Rangel et al. (2008). A diminuição média dos teores de Nt da camada de 0-5 cm para 5-10 cm foi de 31% e de 5-10 para 10-20 cm foi de 23%. Os teores de Nt nas camadas 10-20 e 20-40 cm foram semelhantes e, na maioria dos tratamentos (lablab, crotalária, milho e vegetação espontânea), diminuíram na camada de 40-60 cm (Tabela 8).

Reforçando os comentários apresentados, a correlação entre CO e Nt foi de 0,96 ($p < 0,001$), o que é explicado pelo fato de cerca de 98% do N combinado total do solo estar na forma orgânica (CAMARGO; GIANELLO; VIDOR, 1997).

O CO-Aq, na camada de 0-5 cm, representou de 2 a 3% do CO nas parcelas cultivadas com leguminosas e milho, e 1,8% do CO nas parcelas com vegetação espontânea. Nas camadas inferiores, a participação do CO-Aq no CO variou pouco entre as camadas e diminuiu com o aumento da profundidade (Tabela 9).

Tabela 9. Carbono orgânico extraído em água quente em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
-----Carbono orgânico extraído em água quente, mg dm ⁻³ -----						
0-5	279,25 Da ¹	397,50 Ba	369,50 Ca	439,00 Aa	390,25 Ba	369,50 Ca
5-10	162,00 Cb	172,50 BCb	217,50 Ab	211,25 Ab	179,00 BCb	188,25 Bb
10-20	92,50 Cc	109,75 BCc	169,00 Ac	105,75 BCc	110,25 Bc	115,50 Bc
20-40	87,50 Bc	93,75 ABd	103,75 ABd	94,00 ABc	92,00 ABd	106,00 Ac
40-60	80,25 ABc	91,00 Ad	83,25 ABe	34,25 Cd	67,50 Be	68,00 Bd
				Teste F	CV (%)	
Blocos				1,96 ^{ns}		
Plantas de cobertura (PC)				44,88 ^{**}	6,32	
Profundidade (Prof.)				5.746,51 ^{**}	4,68	
PC x Prof.				50,44 ^{**}		

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

O maior efeito das plantas de cobertura nos teores do CO-Aq foi obtido também na camada de 0-5 cm, sendo o maior teor nas parcelas com lablab e, o menor, nas parcelas com vegetação espontânea (Tabela 9). A variação entre lablab e vegetação espontânea foi de 159,75 mg dm⁻³ (57%). Nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm, os maiores teores de Co-Aq ocorreram com o cultivo de feijão-de-porco e, abaixo de 20 cm, o teor obtido com o cultivo desta espécie não diferiu das plantas que resultaram no maior teor, milho (20-40 cm) e crotalária (40-60 cm). A vegetação espontânea apresentou os menores teores de CO-Aq, e na camada de 40-60 cm, o lablab foi o que apresentou o menor teor (Tabela 9).

O teor de CO-Aq, independentemente da cobertura do solo, estava concentrado nos primeiros 5 cm do solo, e decresceu com o aumento da profundidade. Abaixo dos 10 cm a diminuição ocorreu de forma mais abrupta, variando de 30 a 40% (Tabela 9). Marques et al. (2012) quantificaram as concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) em solo de floresta primária da Amazônia, em três posições topográficas, e em áreas de pastagem, sucessão secundária e sistema agroflorestal, até a profundidade de 2 m, e também obtiveram os maiores teores de COD nas camadas superficiais, em todos os ambientes estudados, diferenciando-se significativamente das outras profundidades. O reservatório de CO-Aq em solos reflete vários processos biológicos (biodegradação/decomposição, biotransformação), químicos (adsorção,

complexação, fotodegradação) e físicos (lixiviação e eluviação) que, por sua vez, são moderados por fatores bióticos e abióticos que incluem o pH do solo, o conteúdo de CO e argila, a atividade microbiana, a temperatura e a umidade do solo (BOLAN et al., 2011). Particularmente em relação ao CO, a correlação com o CO-Aq foi alta, com valor de $r=0,95$ ($p < 0,001$).

Foi também nos primeiros 5 cm que houve a maior diferença no NO-Aq entre as plantas de cobertura, com maior teor com cultivo de feijão-de-porco e menor com vegetação espontânea (Tabela 10). A diferença entre os dois tratamentos foi de $24,46 \text{ mg dm}^{-3}$ (49%). Nas demais camadas a variação foi menor, e o feijão-de-porco esteve entre as plantas que resultaram nos maiores teores de NO-Aq. Comparando leguminosas x gramínea, só ocorreu diferença significativa na camada de 0-5 cm (Tabela 10). O N orgânico dissolvido é considerado uma fonte de N direta e essencial para absorção pelas plantas (NASHOLM et al., 1998) e uma variável que reflete de perto o N total, a biomassa microbiana e o N mineral (ZHONG; MAKESCHIN, 2003) e, deste modo, com base nos resultados obtidos, as leguminosas são mais eficientes no fornecimento de N para a cultura principal, com destaque para o feijão-de-porco.

Tabela 10. Nitrogênio orgânico extraído em água quente, em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
-----N-orgânico extraído em água quente, mg dm^{-3} -----						
0-5	48,98 Da ¹	64,31 BCa	73,44 Aa	67,73 Ba	64,71 BCa	60,82 Ca
5-10	29,89 Bb	33,17 ABb	36,21 Ab	28,31 Bb	35,40 Ab	38,41 Ab
10-20	13,88 Bcd	20,76 Ac	22,18 Ac	25,87 Ab	21,29 Ac	21,80 Ac
20-40	14,99 ABc	16,32 Ac	14,90 ABd	10,55 Bc	14,09 ABd	12,81 ABd
40-60	9,10 Bd	9,34 Bd	14,06 ABd	9,89 ABc	9,81 ABd	14,65 Ad
			Teste F		CV (%)	
Blocos			2,16 ^{ns}			
Planta de cobertura (PC)			19,14 ^{**}		10,30	
Profundidade (Prof.)			1.806,58 ^{**}		8,57	
PC x Prof.			11,09 ^{**}			

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

O NO-Aq representou, em média, 5 a 6% do Nt do solo com cultivo de leguminosas e milho, e foi cerca de 4,5% do Nt nas parcelas com vegetação

espontânea (Tabela 10) e, assim como para o CO e CO-Aq, a correlação entre o CO e NO-Aq foi alta ($r=0,96$, $p < 0,001$), pois quando ocorre o aumento do CO, aumentam as partículas orgânicas dissolvidas, contribuindo assim para o aumento do teor de NO-Aq. Solos com alto teor de MO resultam em concentrações elevadas de nitrogênio orgânico dissolvido (QUALLS et al., 2000).

Na camada de 0-5 cm os maiores teores de N-KCl foram obtidos com cultivo de lablab e feijão-de-porco e, os menores, nas áreas com vegetação espontânea (Tabela 11). Nesta camada houve a maior variação no N-KCl em função das plantas de cobertura, $8,23 \text{ mg dm}^{-3}$ (39%), entre lablab e vegetação espontânea. Na camada de 5-10 cm não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura e o comportamento relatado na camada de 0-5 cm não se repetiu nas demais camadas, sendo que entre 10-20 cm os maiores teores de N-KCl ocorreram com vegetação espontânea, mucuna e crotalária e, entre 20-40 e 40-60 cm, com vegetação espontânea e leguminosas, exceto lablab na camada de 20-40 cm (Tabela 11).

Aumento da quantidade de N-KCl significa maior capacidade do solo em suprir N para as plantas (DRINKWATER et al., 1996), bem como maior conservação do N no sistema solo (DORAN; PAUSTIAN, 1998). Deste modo, embora o lablab tenha levado, no conjunto das leguminosas, aos piores resultados de CO e Nt, é possível admitir que em curto prazo, seu potencial de fornecimento de N para o milho seja semelhante ao das demais leguminosas.

Tabela 11. Nitrogênio KCl a quente do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof. cm	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
N- KCl a quente, mg dm^{-3}						
0-5	21,08 Da ¹	25,54 BCa	27,91 ABa	29,31 Aa	24,94 BCa	24,59 Ca
5-10	19,25 Aab	19,02 Ab	19,85 Ab	19,83 Ab	20,79 Ab	18,14 Ab
10-20	18,01 Ab	14,82 ABC	13,82 Bc	12,96 Bc	17,09 Ac	12,60 Bc
20-40	14,72 Ac	13,31 ABcd	11,81 ABCc	9,30 Cd	14,93 Ac	11,43 BCc
40-60	9,71 ABd	11,79 Ad	11,85 Ac	7,89 Ad	10,26 ABd	8,27 Bd
			Teste F		CV (%)	
Blocos			2,60 ^{ns}			
Planta de cobertura (PC)			2,89 ^{ns}		14,84	
Profundidade (Prof.)			635,88 ^{**}		7,25	
PC x Prof.			11,96 ^{**}			

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

O comportamento do N-KCl em relação à profundidade foi semelhante ao relatado para as outras variáveis, com maior acúmulo nas camadas superficiais e diminuição com a profundidade (Tabela 11).

O cultivo das leguminosas resultou também nos maiores teores de N-mineral no solo. Nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, os melhores resultados foram obtidos com feijão-de-porco, lablab e mucuna e os piores, também neste caso, com milho e vegetação espontânea (Tabela 12). O resultado relatado é reflexo dos maiores teores de N-NH_4^+ obtidos com cultivo de lablab e mucuna e os maiores de N-NO_3^- determinados nas parcelas cultivadas com feijão-de-porco, nestas camadas. A crotalaria resultou em teor de N-NH_4^+ na camada de 0-5 cm semelhante aos obtidos com as demais leguminosas, mas os teores de N-NO_3^- foram menores e, por isso, a soma (N-mineral) foi menor, mas com diferença de apenas $2,55 \text{ g dm}^{-3}$, ou $1,28 \text{ kg ha}^{-1}$ no volume de solo correspondente à camada. Na camada de 5-10 cm, os teores de N-mineral obtidos com crotalaria, milho e vegetação espontânea foram semelhantes. Nas camadas de 10-20 cm e 40-60 cm, as quatro leguminosas apresentaram comportamento semelhante e os maiores teores de N-mineral, N-NH_4^+ e N-NO_3^- e, na camada de 20-40 cm, os maiores teores ocorreram nas parcelas cultivadas com lablab (Tabela 12).

Tabela 12. N-amônio, N-nitrato e N-mineral do solo em função de plantas de cobertura e profundidades.

Prof.	Vegetação espontânea	Crotalária	Feijão de porco	Lablab	Mucuna	Milheto
cm	-----N-NH ₄ ⁺ , mg dm ⁻³ -----					
0-5	3,75 Ca ¹	4,09 ABCa	4,07 BCa	4,84 ABa	5,05 Aa	3,56 Cab
5-10	3,16 Bab	1,89 Cc	3,13 Bb	3,83 ABb	4,34 Ab	3,66 ABa
10-20	2,45 Ac	2,78 Ab	2,78 Ab	3,09 Ac	2,51 Ac	2,91 Ab
20-40	2,47 Bbc	1,77 Bc	2,43 Bb	3,99 Ab	1,91 Bc	2,00 Bc
40-60	1,82 Ac	2,02 Ac	2,68 Ab	2,77 Ac	1,88 Ac	2,02 Ac
				Teste F		CV (%)
Blocos				1,36 ^{ns}		
Planta de cobertura (PC)				6,08 ^{**}		25,11
Profundidade (Prof.)				125,95 ^{**}		11,89
PC x Prof.				8,68 ^{**}		
cm	-----N-NO ₃ ⁻ , mg dm ⁻³ -----					
0-5	2,20 Ea	5,68 Ca	8,25 Aa	7,08 Ba	6,17 BCa	3,65 Da
5-10	1,34 Cab	3,95 Bb	6,19 Ab	4,51 Bb	4,01 Bb	1,74 Cbc
10-20	1,51 Bab	3,76 Abc	3,87 Ac	3,89 Ab	3,84 Ab	1,86 Bb
20-40	1,37 CDab	3,01 Bcd	2,97 Bd	4,16 Ab	2,11 BCc	0,96 Dc
40-60	0,64 Cb	2,31 Ad	2,14 Ad	2,36 Ac	1,83 ABc	0,97 BCc
				Teste F		CV (%)
Blocos				1,64 ^{ns}		
Planta de cobertura (PC)				69,91 ^{**}		22,01
Profundidade (Prof.)				250,05 ^{**}		13,59
PC x Prof.				11,70 ^{**}		
cm	-----N-mineral, mg dm ⁻³ -----					
0-5	5,95 Ca	9,77 Ba	12,32 Aa	11,92 Aa	11,23 ABa	7,21 Ca
5-10	4,49 Bb	5,84 Bbc	9,31 Ab	8,34 Ab	8,35 Ab	5,41 Bb
10-20	3,95 Cb	6,54 Ab	6,65 Ac	6,99 Ac	6,35 ABc	4,77 BCb
20-40	3,84 BCb	4,79 Bcd	5,39 Bd	8,15 Ab	4,03 BCd	2,96 Cc
40-60	2,46 Cc	4,33 ABd	4,82 Ad	5,12 Ad	3,71 ABCd	2,99 BCc
				Teste F		CV (%)
Blocos				1,91 ^{ns}		
Planta de cobertura (PC)				30,59 ^{**}		20,59
Profundidade (Prof.)				417,30 ^{**}		8,59
PC x Prof.				13,23 ^{**}		

¹ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey de 5% de probabilidade.

Na camada de 0-60 cm havia 21,9 kg ha⁻¹ de N-mineral a mais nas parcelas cultivadas com lablab, em relação às parcelas com vegetação espontânea (15,4 kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻ e 6,5 kg ha⁻¹ de N-NH₄⁺). A diferença diminui para 14,7 kg ha⁻¹ de N-mineral, se comparada a média das leguminosas com a vegetação espontânea, o que diferencia o potencial do lablab em relação às demais espécies no fornecimento de N para a cultura principal, em curto prazo.

O N mineral na camada de 0-5 cm representou apenas 0,9%; 0,6% e 0,55% do N total nas parcelas cultivadas com leguminosas, milho e vegetação espontânea, respectivamente. Nas camadas mais profundas a participação do N mineral no Nt variou pouco entre as coberturas e diminuiu com o aumento da profundidade.

Na camada de 0-5 cm, nas parcelas com leguminosas, a relação $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ variou entre 0,49 e 0,82. Nas áreas cultivadas com milho a relação foi de 0,98 e a vegetação espontânea resultou em relação 1,70, indicando predomínio de amônio. Nas demais camadas, nos tratamentos com vegetação espontânea e milho houve predomínio de amônio e, nas parcelas cultivadas com leguminosas, na camada de 40-60 cm, as proporções de $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ estavam muito semelhantes. O predomínio de NH_4^+ pode significar perda recente de grande quantidade de NO_3^- por lixiviação, mas pode também estar relacionado à inibição da nitrificação por substâncias exsudadas na rizosfera (SUBBARAO et al., 2006) ou liberadas da decomposição de algumas espécies de plantas, particularmente capins. Se o efeito observado nas parcelas com milho decorre da inibição da nitrificação, este aspecto é relevante porque pode aumentar o aproveitamento de N pelas plantas e, em parte, compensar a menor entrada de N em relação às leguminosas fixadoras de N_2 .

Em profundidade, 40-60 cm, e exceto quando a planta de cobertura foi feijão-de-porco, havia mais amônio que nitrato no solo. Este efeito pode ser explicado com base na menor concentração de oxigênio para o processo de nitrificação, e pode estar associado não só com a profundidade, mas também com a precipitação pluvial intensa que antecedeu a coleta das amostras. Aeração (oxigênio), temperatura, umidade, abundância de íons amônio e população e diversidade de organismos nitrificadores são os fatores mais importantes que afetam a nitrificação e a nitrificação máxima é atingida quando a concentração de oxigênio no ar é de cerca de 20% (semelhante à concentração do ar atmosférico) (SAHRAWAT, 2008), condição que pode não ter sido satisfeita na maior profundidade de solo amostrada.

As formas $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$, e também o N-mineral, diminuíram com a profundidade, qualquer que fosse a cobertura do solo (Tabela 12). No entanto, na média das plantas de cobertura, 59% do $N-NH_4^+$ da camada de 0-60 cm, 51% do N-

NO_3^- e 55% do N-mineral estavam abaixo de 20 cm, portanto abaixo da zona de maior concentração radicular e com maior potencial para perda por lixiviação. Neste aspecto, no mês de janeiro, que antecedeu a coleta das amostras de solo, a precipitação pluvial no local foi de mais de 400 mm, e isso justifica não só a maior concentração de N-mineral nas camadas mais profundas, como também a quantidade de N-mineral relativamente baixa no solo. Considerando que a taxa média de absorção de N pelo milho pode chegar a 2 kg ha^{-1} por dia (ROBERTSON; VITOUSEK, 2009), o processo de mineralização de N no sistema precisaria ser muito eficiente para atender a demanda das plantas e aos processos de perda/imobilização, mantendo a concentração de N-mineral no solo em níveis tão baixos.

A correlação entre o CO e o N mineral ($r=0,79$, $p < 0,001$) foi menor que a calculada para o CO e o NO-Aq ($r=0,96$, $p < 0,001$), já que apenas uma pequena parte do N encontra-se na forma mineral. A correlação é justificada porque o CO é a maior reserva de N orgânico no solo, e a sua mineralização supre quantidades substanciais deste nutriente durante o ciclo das culturas (MENGEL, 1996) e, particularmente nas amostras coletadas, o CO era quase que a fonte exclusiva de N, uma vez que nas parcelas onde foi feita a coleta de solo não foi feita a adubação nitrogenada de cobertura. Sendo assim, as plantas de cobertura que resultaram nos maiores teores de CO, de modo geral resultaram também nos maiores teores de NO-Aq e N mineral.

5. CONCLUSÕES

O cultivo de plantas de cobertura não causou variação na acidez do solo, nos teores de P disponível e de bases trocáveis.

O aumento do carbono orgânico e do nitrogênio total do solo foi favorecido pelo cultivo de leguminosas, com destaque para mucuna-cinza.

Maiores quantidades de N em formas lábeis foram obtidas com cultivo de leguminosas, particularmente lablab e feijão-de porco.

O milheto não resultou em melhora de atributos químicos do solo, mesmo depois de 12 anos de cultivo em pré-safra a cultura do milho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura - efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. (Org.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem - ênfase em plantio direto**. 1ed. Santa Maria: Palotti, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 157-165, 2001.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 985-1002, 2003.

ALVARENGA, R. C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. 1993. 112 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 175-185, 1995.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.

AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M.; DUARTE, J. B.; FANCELLI, A. L. Efeito de épocas de semeadura na fisiologia e produção de fitomassa de leguminosas nos

cerrados da região do Mato Grosso de Goiás. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, p. 296-303, 1996.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, bob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.

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.

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.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 905-915, 2000.

BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 379-386, 2005.

BOLAN, N. S.; ADRIANO, D. C.; KUNHIKRISHNAN, A.; JAMES, T.; McDOWELL, R.; SENESI, N. Dissolved organic matter: biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 110, p. 1-75, 2011.

BONAMIGO, L. A. Milheto como cobertura no sistema de plantio direto, benefícios do melhoramento da cultura. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7, 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2003.p. 37-48.

CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: Iapar, 1992. 37p. (Boletim Técnico, 35)

CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MUYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubos verdes. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 206-319.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Comparative study of five hydrolytic methods in the determination of soil organic nitrogen compounds. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York , v. 28, p. 1.303-1.309, 1997.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106)

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.173-180.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.270-276.

CARSKY, R. J. **Estimating availability of nitrogen from green manure to subsequent maize crops using a buried bag technique**. 1989. 257 f. Thesis (Ph. D.)- Cornell University , Ithaca.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369p.

CARVALHO, A. M.; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. **Manejo de adubos verdes no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 28p. (Embrapa- CPAC-Circular Técnica, 4)

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

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, p. 20-31, 2008.

COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema de plantio direto**. 2000. 146f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Iapar: Londrina. 1992. 80 p. (Circular 73)

DORAN, J. W.; PAUSTIAN, E. K. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 3-18, 1998.

DRINKWATER, L. E.; CAMBARDELLA, C. A.; REEDER, J. D.; RICE, C. W. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.) **Methods for assessing soil quality**, 1996. p.217-229.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 139-147, 2003.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T.; DeMARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. (Eds.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 6.ed. rev. atual., 1998. 396p. (Boletim 200)

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1.691-1.698, 1999.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M.; ZUBERER, D. A. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management-systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1.639-1.645, 1994.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M.; ZUBERER, D.A. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 1.618–1.624, 1995.

GIANELLO, C.; BREMNER, J. M. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 17, p. 195-214, 1986.

HANEY, R. L.; FRANZLUEBBERS, A. J.; JIN, V. L.; JOHNSON, M. V.; HANEY, E. B.; WHITE, M. J; HARMEL, R. D. Soil organic C:N vs. water-extractable organic C:N. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, p. 269-274, 2012.

HAVLIN, J. L.; KISSEL, D. E.; MADDUX, L. D.; CLAASSEN, M. M.; LONG, J. H. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 448–452, 1990.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: **Adubação verde no Brasil**. Fundação Cargill: Campinas, 1984. p. 232-267.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1.322-1.333, 2013.

KIEHL, E. J. Produção de composto e vermicomposto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 40-52, 2001.

KUO, S.; SAINJU, U. M.; JELLUM, E. J. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 145–152, 1997.

LAL, R. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. **Food Policy**, Guildford, v. 36, p. S33-S39, 2011.

LIMA, E.; CRUSCIOL., C. A. C.; LEITÃO-LIMA, P.; CORRÊA, J. Espécies para cobertura e qualidade dos resíduos vegetais na implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, p. 180-194, 2005.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. J. F. Variações do carbono orgânico dissolvido e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 611-622, 2012.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D., ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, p. 71- 82, 1996.

MATEUS, G. P.; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, s/p, 2006. Disponível em: http://www.aptaaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=269&Itemid=284. Acesso em: 01 ago 2014.

MAZZONCINI, M.; SAPKOTA, T. B.; BÁRBERI, P.; ANTICHI, D.; RISALITTI, R. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 114, p. 165–174, 2011.

MCVAY, K. A.; RADCLIFFE, D. E.; HARGROVE, W. L. Winter legume effects on soil properties and nitrogen-fertilizer requirements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1856–1862, 1989.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, p. 173-180, 2004.

MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, p. 83-93, 1996.

MURAISHI, C. T.; LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; GOMES JUNIOR, F. G. G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences, Maringá, v. 27, p. 199-207, 2005.

NÄSHOLM, T.; EKBLAD, A.; NORDIN, A.; GIESLER, R.; HÖGBERG, M.; HÖGBERG, P. Boreal forest plants take up organic nitrogen. **Nature**, London, v. 392, p. 227–229, 1998.

NEEDELMAN, B. A.; WANDER, M. M.; BOLLERO, G. A.; BOAST, C. W.; SIMS, G. K.; BULLOCK, D. G. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1326–1334, 1999.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; CONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 538-544, 2005.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

QUALLS, R. G.; HAINES, B. L.; SWANK, W. T.; TYLER, S. W. Soluble organic and inorganic nutrient fluxes in clearcut and mature deciduous forests. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1.068–1.077, 2000.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 181-187.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.189-199.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Interpretação de resultados de análises de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 8-13. (Boletim técnico, 100)

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os

espaçamentos de plantas de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2.051-2.059, 2008.

REICOSKY, D. C.; FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 53, p. 224–229, 1998.

ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of na essential resource. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 34, p. 97-125, 2009.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1.033-1.040, 2006.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 355-362, 2003.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. 1996. 24 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Passo Fundo, 1996.

SAHRAWAT, K. L. Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, p. 1.436-1.446, 2008.

SAINJU, U. M.; SINGH, B. P.; WHITEHEAD, W. F. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 63, p. 167–179, 2002.

SAINJU, U. M.; WHITEHEAD, W. F.; SINGH, B. P. Carbon accumulation in cotton, sorghum, and underlying soil as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, v. 273, p. 219-234, 2005.

SALET, R. L.; VARGAS, L. K.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A.; CONTE, E. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., Passo Fundo, 1997. **Anais**. Passo Fundo, 1997. p. 217-219.

SILVA, P. C. G.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRITAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1.504-1.512, 2009.

SOUZA, W. J. O; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 885-896, 2000.

SPARLING, G.; VOJVODIC-VUKOVIC, M; SCHIPPER, L. A. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 30, p. 1.469-1.472, 1998.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K. L.; BERRY, W. L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M.; RAO, I.M. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, p. 303–335, 2006.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

UEMURA, Y.; URBEN FILHO, G.; NETTO, D. A. M. Pearl millet as a cover crop for no-till soybean production in Brazil. **International Sorghum and Millets Newsletter**, v. 487, p. 141-143, 1997.

VASCONCELLOS, C. A.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, F. G.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, C. A. Resíduos de sorgo e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 373-379, 2001.

VILLAMIL, M. B.; BOLLERO, G. A.; DARMODY, R. G.; SIMMONS, F. W.; BULLOCK, D. G. No-till corn/soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, p. 1.936–1.944, 2006.

WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coords.) **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. p.17-29. (Documentos IAC, 35)

ZHONG, Z.; MAKESCHIN, F. Soluble organic nitrogen in temperate forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 35, p. 333-338, 2003.