

Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola¹

Roberta Pereira Martins², Jucinei José Comin³, Luciano Colpo Gatiboni⁴, Cláudio Roberto Fonseca Soares³,
Rafael da Rosa Couto⁵, Gustavo Brunetto⁶

<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040020>

RESUMO

A decomposição das plantas de cobertura de inverno, depositadas sobre o solo, podem aumentar a disponibilidade de formas de nitrogênio (N), durante o ciclo da cebola. O trabalho objetivou avaliar a mineralização de N da massa de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, em um solo com histórico de cultivo de cebola. Porções de solo foram coletadas, preparadas, acondicionadas em recipientes de acrílico. Matéria seca de aveia preta, centeio, nabo-forageiro, aveia preta+nabo-forageiro e centeio+nabo-forageiro, foram adicionadas sobre a superfície do solo e incubadas por 90 dias. No tempo zero e aos 18, 36, 54, 72 e 90 dias após a incubação (DAI), as porções de solo foram amostradas e determinados os teores de N total, N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ de cada uma. Calcularam-se os valores de N mineral, N mineral líquido, N mineralizado e N total-N mineralizado. Os maiores teores de N-NH₄⁺ foram observados nas porções de solo com a deposição de massa de nabo-forageiro e do consórcio centeio+nabo-forageiro. Os maiores teores de N-NO₃⁻ e N-mineral dos 36 até os 90 DAI e de N-mineralizado dos 18 até os 92 DAI foram observados nas porções de solo com a deposição de massa de centeio + nabo-forageiro. A taxa de mineralização foi positiva em todas as amostras do solo com deposição de massa de centeio e nabo-forageiro, e dos consórcios aveia preta+nabo-forageiro e centeio+nabo-forageiro e negativa aos 18 e 72 DAI, nas porções de solo com deposição de massa de aveia. Os resíduos de nabo-forageiro e do consórcio centeio+nabo-forageiro apresentaram o maior potencial de mineralização.

Palavras-chave: decomposição de resíduos, N-mineral, *Allium cepa* L.

ABSTRACT

Nitrogen mineralization of cover plant litter, intercropped or not, in a soil with a history of onion plantation

The decomposition of winter cover plants on the soil surface can increase nitrogen (N) availability during the onion crop cycle. The objective of this study was to evaluate N mineralization of cover plant litter, intercropped or not, in a soil with a history of onion plantation. Soil was collected, prepared, placed in acrylic containers. Dry mass of black oats, rye, oilseed radish, black oats + oilseed radish and rye + oilseed radish were added into soil surface and incubated for 90 days. Soil was sampled and contents of total N, NO₃⁻-N and NH₄⁺-N were determined at time zero and at 18, 36, 54, 72 and 90 days after incubation. Values of mineral N, net mineral N, mineralized N and total N - mineralized N were

Recebido para publicação em 06/02/2013 e aprovado em 19/11/2013.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado com recursos parciais da Fapesc.

² Engenheira Agrônoma, Mestre. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, 88034-000, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. agrobeca@yahoo.com.br

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, 88034-000, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. j.comin@ufsc.br; crfsoares@gmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor. Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Avenida Luiz de Camões, 2090, 88.520-000, Lages, Santa Catarina, Brasil. lgatiboni@gmail.com

⁵ Tecnólogo em Agropecuária, Mestre. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, 88040-970, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. rrccouto@hotmail.com

⁶ Engenheiro Agrônomo, Doutor. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, bairro, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. brunetto.gustavo@gmail.com

calculated. The highest contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were found in the soil with the deposition of oilseed radish litter and rye + oilseed radish intercrop. The greatest contents of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and mineral N from 36 to 90 days after incubation and of mineralized N from 18 to 92 DAI were found in the soil with the rye + oilseed radish litter deposition. Mineralization rate was positive in all soil samples with deposition of rye and oilseed radish litter, and black oats + oilseed radish and rye + oilseed radish intercrops, and negative on 18 and 72 days after incubation in the soil with deposition of black oats litter. The oilseed radish litter and rye + oilseed radish intercrop displayed the greatest potential for mineralization.

Key words: *Allium cepa* L., decomposition, mineral N

INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina (SC) possui a maior área cultivada com cebola (*Allium cepa* L.) do Brasil. O cultivo é realizado sob Sistema de Cultivo Convencional (SCC) e, em menor escala, sob Sistema Plantio Direto (SPD), no qual espécies de plantas de cobertura da família das gramíneas, entre elas a aveia preta (*Avena sativa* L.) e o centeio (*Secale cereale* L.), e das crucíferas, principalmente o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), são cultivadas solteiras ou consorciadas durante o outono e inverno. No final do inverno e início da primavera, antes do transplante das mudas de cebola, a parte aérea das espécies de plantas de cobertura é depositada sobre a superfície do solo. Com isso, espera-se maior proteção da superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva, o que, por consequência, diminui a erosão hídrica e a incidência de plantas espontâneas e aumenta o armazenamento de água no perfil do solo, mas também, a mineralização de nutrientes, entre eles o nitrogênio (N), durante o processo de decomposição do material vegetal, o que pode aumentar sua disponibilidade para as culturas (Flower *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2013).

O carbono (C) orgânico dos resíduos de espécies de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, depositados na superfície do solo é utilizado como fonte de energia pelos micro-organismos, como fungos e bactérias, liberando parte do CO_2 para a atmosfera; enquanto parte do N, contido no material vegetal, pode ser mineralizada, incrementando as suas formas minerais, como o amônio (N-NH_4^+) e o nitrato (N-NO_3^-) no solo (Janssens *et al.*, 2010), que podem ser absorvidas pela cebola ao longo do seu ciclo. No entanto, a decomposição da massa e, por consequência, a mineralização de N são dependentes de condições ambientais, como, por exemplo, a umidade e a temperatura do solo, os valores de pH do solo e as características químicas do material vegetal, especialmente, do teor total de N e C (Dilly *et al.*, 2003; Sylvia *et al.*, 2004) e os teores de celulose e hemicelulose (Meier *et al.*, 2006; Sanchez, 2009), lignina (Sanchez, 2009; Vahdat *et al.*, 2011); e polifenóis totais (Joanisse *et al.*, 2008; Thorpe *et al.*, 2011). O processo de decomposição também é influenciado

do pelas relações celulose/lignina, lignina/N, polifenóis/N e C/N (Trinsoutrot *et al.*, 2000; Meier *et al.*, 2006; Sanchez, 2009; Mohanty *et al.*, 2011). Em geral, os micro-organismos decompositores não conseguem quebrar as estruturas para retirar o C de resíduos muito lignificados ou com alta relação C/N, o que, por consequência, diminui a velocidade de decomposição e, conseqüentemente, a mineralização de N (Månsson & Falkengren-Grerup, 2003; Bonanomi *et al.*, 2013).

A aveia preta e o centeio, em geral, apresentam não só baixos teores de N, o que se reflete em alta relação C/N, mas também, altos teores de lignina (Sá *et al.*, 2001; Séguy *et al.*, 2006). Porém, quando a aveia preta e o centeio são consorciados com o nabo-forrageiro, que apresenta baixa relação C/N e baixos teores de lignina, a matéria seca (MS) passa a apresentar uma relação C/N intermediária e menores teores de lignina, o que pode favorecer a decomposição e, por consequência, a mineralização de N (Cabrera *et al.*, 2005). Entretanto, a taxa de mineralização de N de resíduos dessas espécies, solteiras ou consorciadas, ao longo do ciclo da cebola, na região sul do Brasil, é pouco conhecida. Pode ser estimada, usando-se o método da incubação (Stanford & Smith, 1972; Camargo *et al.*, 1997; Fioreze *et al.*, 2012), no qual amostras de solo com material vegetal são acondicionadas em recipientes em câmara de incubação, com controle de temperatura, e umidade do solo monitorada. Assim, é possível, ao longo do tempo, simular o ciclo da cultura de interesse econômico, como a cebola, coletando-se amostras de solo e de massa e, posteriormente, determinando-se as formas de N no solo, especialmente, N-NH_4^+ e N-NO_3^- ; calcular o teor de N-mineral (N_{min}) e a mineralização líquida (N_{liq}), que indica se houve predomínio da mineralização do N (valor positivo) ou da sua imobilização (valor negativo) (Giacomini, 2005). Para melhorar a interpretação dos resultados de N obtidos nos experimentos de incubação, são utilizados modelos de simulação, como aquele que considera um único reservatório de N mineralizável no solo (Stanford & Smith, 1972), o que possibilita determinar a fração do N orgânico (N_{org}) potencialmente mineralizável e a constante de mineralização (k) (Camargo *et al.*, 1997). Este trabalho objetivou avaliar a mineralização do N da massa de espé-

cies de plantas de cobertura de inverno, solteiras e consorciadas, em um solo com histórico de cultivo de cebola.

MATERIAL E MÉTODOS

Em julho de 2011, na área do experimento intitulado *Rendimento de cebola e atributos químicos de solo cultivado com plantas de cobertura sob SPD*, instalado em julho de 2009 e localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri), no município de Ituporanga (SC), foi coletada a parte aérea de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas: aveia preta, centeio, nabo-forageiro, aveia preta+nabo-forageiro e centeio+nabo-forageiro. Em seguida, a massa verde das plantas de cobertura foi secada em estufa com circulação de ar forçado, a 65 °C, até massa constante. A MS foi pesada, determinada sua produção por hectare e reservada em duas partes. Nos tratamentos consorciados, a MS foi determinada separadamente para cada espécie. Uma primeira parte foi submetida à análise química (Tabela 1), enquanto a segunda parte das amostras de tecido foi cortada, manualmente, em tamanho de, aproximadamente, 1 a 2 cm, como proposto por Giacomini *et al.* (2008) e, em seguida, foi reservada. No mesmo experimento, em outubro de 2011, foram coletadas, na camada de 0-10 cm, amostras de um Cambissolo Húmico (Embrapa, 2006), que apresentava os seguintes atributos: 300 g kg⁻¹ de argila; 40,8 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 23,58 g kg⁻¹ de carbono orgânico total; pH em água de 6,16; 145,2 mg kg⁻¹ de P disponível e 276 mg kg⁻¹ de K trocável (extrator Mehlich 1); 7,18 cmol_c kg⁻¹ de Ca, 3,38 cmol_c kg⁻¹ de Mg e 0,0 cmol_c kg⁻¹ de Al trocáveis (extrator KCl 1 mol L⁻¹); 359,6 mg kg⁻¹ de N total, 1,53 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻, 4,60 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺, relação C/N= 11,65 e capacidade de troca de cátions (CTC_{efetiva}) de 11,26 cmol_c kg⁻¹. Posteriormente, o solo foi passado em peneira com malha de 4 mm e corrigida a umidade para 80% da capacidade de campo. Logo depois, 102,75 g de solo foram adicionados em recipientes

de acrílico, em duas etapas, sendo cada amostra compactada (para maior uniformização da densidade). O volume final de solo em cada recipiente foi de 100 mL e, com isso, obteve-se a densidade de 1,02 g cm⁻³, semelhante àquela verificada no solo cultivado com cebola.

Com o material de plantas de cobertura reservados, foram constituídos seis tratamentos: solo (T1), aveia preta (T2), centeio (T3), nabo-forageiro (T4), aveia preta+nabo-forageiro (T5) e centeio+nabo-forageiro (T6). Foram adicionados à superfície do solo conforme os tratamentos, em cada recipiente de acrílico, 1,65 g MS de aveia preta, 1,55 g MS de centeio, 1,60 g MS de nabo-forageiro, 2,07 g MS de aveia preta+nabo-forageiro e 2,18 g MS de centeio+nabo-forageiro, quantidade equivalente a 0 kg ha⁻¹ de MS no tratamento T1, 3.203 kg ha⁻¹ de MS no T2, 1.304 kg ha⁻¹ de MS, no T3, 1.152 kg ha⁻¹ de MS, no T4, 2.342 kg ha⁻¹ de MS no T5 e 2.825 kg ha⁻¹ de MS, no T6. A quantidade de MS por hectare foi equivalente à obtida em cada espécie, solteira e consorciada, no campo. Em seguida, nove recipientes de acrílico, foram acondicionados aleatoriamente em frascos de 1.500 mL, para evitar a perda excessiva de umidade. Imediatamente, foram armazenados em câmara de incubação, com temperatura constante de 17,6 °C, que é a temperatura média ao longo dos meses de setembro, outubro e novembro (Epagri, 2012), período correspondente do transplante até a bulbificação da cebola, na região de Ituporanga (SC), onde os resíduos das plantas de cobertura foram coletados. O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. A cada três dias, os recipientes com as unidades experimentais foram abertos, durante 15 minutos, em local arejado, para evitar a saturação de gases no seu interior. A umidade de cada unidade experimental foi monitorada diariamente através da pesagem da unidade amostral e, quando necessário, foi adicionada água destilada, para manter a capacidade de campo do solo a 80%.

Tabela 1. Características químicas e bioquímicas dos resíduos de espécies de plantas de cobertura usados na incubação

Componentes da planta	Aveia preta	Centeio	Nabo-forageiro	Aveia preta + nabo-forageiro	Centeio + nabo-forageiro
Celulose, % ⁽¹⁾	65,28	46,24	77,10	70,00	59,00
Lignina, % ⁽¹⁾	34,72	53,76	22,90	29,99	41,99
Relação celulose/lignina	1,88	0,86	3,36	2,33	1,40
Carbono orgânico total, % ⁽²⁾	34,66	34,90	33,48	32,56	28,88
N total, % ⁽²⁾	1,55	1,33	2,46	1,91	1,77
Relação lignina/N	22,40	40,42	9,30	15,70	23,72
Relação C/N	22,36	26,24	13,60	17,04	16,31
Cálcio total, % ⁽²⁾	0,16	0,13	0,68	0,36	0,35
Magnésio total, % ⁽²⁾	0,15	0,11	0,09	0,12	0,10
Potássio total, % ⁽²⁾	1,05	0,85	0,76	0,95	0,81
Fósforo total, % ⁽²⁾	0,33	0,27	0,51	0,39	0,36

⁽¹⁾ Segundo metodologia proposta por Aber & Martin (1999). ⁽²⁾ De acordo com metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995).

No momento da instalação do experimento (tempo 0), e, aos 18, 36, 54, 72 e 90 dias depois do início da incubação, equivalente, aproximadamente, aos estádios fenológicos da cebola: transplante, 5ª folha verdadeira, 7ª folha verdadeira, formação da 8ª à 14ª folha, últimas folhas e bulbificação (Gandin *et al.*, 2002), o solo foi retirado dos recipientes, homogeneizado e separado em duas porções. Uma porção de cinco gramas foi preparada e submetida à análise de N-NH_4^+ e N-NO_3^- (Tedesco *et al.*, 1995). A segunda porção foi preparada e submetida à determinação da umidade e, com isso, o teor de N foi expresso em mg N kg^{-1} de solo seco. O N na forma de nitrito (N-NO_2^-) nas amostras de solos foi desprezado porque, em pré-testes, seus teores foram muito pequenos nos tratamentos.

A partir dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foi calculado o teor de N-mineral (N_{min}): $\text{N}_{\text{min}} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$. A evolução da taxa de mineralização de N dos diferentes tratamentos, ao longo da incubação, foi avaliada por meio da mineralização líquida, (N_{liq}): $\text{N}_{\text{liq}} = \text{N}_{\text{min}} \text{ solo do tratamento} - \text{N}_{\text{min}} \text{ do solo testemunha}$, em que: $\text{N}_{\text{liq}} = \text{mineralização líquida (mg de N kg}^{-1})$; $\text{N}_{\text{min}} = \text{teores de N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ em cada tempo avaliado (mg de N kg^{-1}). A N_{liq} indica se houve predomínio da mineralização do N (valor positivo), ou da sua imobilização (valor negativo), em cada tempo de coleta e para cada combinação solo-resíduo (Giacomini, 2005). A cinética de mineralização, os potenciais de mineralização (N_0) e a constante de mineralização (k) de N foram obtidos a partir dos valores acumulados de N_{min} durante o período de incubação e foram ajustados pelo modelo matemático de progressão não linear. O potencial de mineralização (N_0) foi determinado por meio da equação $\text{N}_{\text{total}} - \text{Nm}$ no resíduo, em cada data de avaliação, em que $\text{N}_{\text{total}} = \text{N total adicionado por via do resíduo (mg de N kg}^{-1})$ e Nm foi obtido pelo ajuste do modelo Stanford & Smith (1972) (mg de N kg^{-1}), conforme descrito acima. O modelo citado considera apenas uma fração do N orgânico (N_{org}) do solo, que é potencialmente mineralizável, e o processo de mineralização segue uma cinética de primeira ordem, sendo definido pela equação exponencial simples, $\text{Nm} = \text{N}_0 (1 - e^{-kt})$, em que: $\text{Nm} = \text{N mineralizado acumulado em um período de tempo (mg de N kg}^{-1})$; $\text{N}_0 = \text{potencial de mineralização do N (mg de N kg}^{-1})$; $k = \text{constante de mineralização (dia}^{-1})$ e $t = \text{o tempo (dias)}$. A redução do N_0 , função da mineralização ($\text{N}_0 - \text{Nm}$) em cada evento foi determinada com os dados obtidos ajustados no modelo proposto por Stanford & Smith (1972). Os resultados obtidos ao longo do período de incubação foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos em relação aos tratamentos, foi realizada a análise de regressão, utilizando-se equação polinomial, com significância de 5%. Quanto à época, as médias entre tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-mineral, N-mineral líquido e N-mineralizado no solo foram influenciados pela cultura de cobertura, pelos dias de incubação (DAI) e pela interação entre cultura e dias após a incubação.

O teor de N-NH_4^+ no solo diminuiu de forma quadrática, ao longo dos dias de incubação, em todos os tratamentos (Figura 1A). Os teores de N-NH_4^+ no tempo zero foram maiores no solo com a deposição de nabo-forrageiro, comparativamente aos teores no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Entretanto, os teores de N-NH_4^+ no solo com nabo-forrageiro foram iguais aos verificados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro e centeio. Aos 18 DAI, os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a adição de aveia preta e do solo sem adição de material vegetal. Porém, os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de nabo-forrageiro não diferiram estatisticamente daqueles verificados no solo com a adição de centeio+nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo-forrageiro. Aos 36 DAI, o solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro apresentou maiores teores de N-NH_4^+ , comparativamente ao observado no solo com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Aos 54 DAI, os teores de N-NH_4^+ verificados no solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Contudo, o teor de N-NH_4^+ no solo com a adição de nabo-forrageiro foi semelhante ao verificado no solo com a adição de centeio+nabo-forrageiro. Os teores de N-NH_4^+ , aos 72 DAI, do solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os verificados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Aos 90 DAI, os teores de N-NH_4^+ no solo com a deposição de nabo-forrageiro foram maiores que os observados no solo com a deposição de aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Porém, o teor de N-NH_4^+ no solo com a adição de nabo-forrageiro foi semelhante ao verificado no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo-forrageiro.

O teor de N-NO_3^- aumentou de forma quadrática, no solo, ao longo dos dias de incubação (Figura 1B). Os teores de N-NO_3^- no solo, no tempo zero, foram semelhantes em todos os tratamentos. Aos 18 DAI, os teores de N-NO_3^- , no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram maiores que os observados nos solos com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo

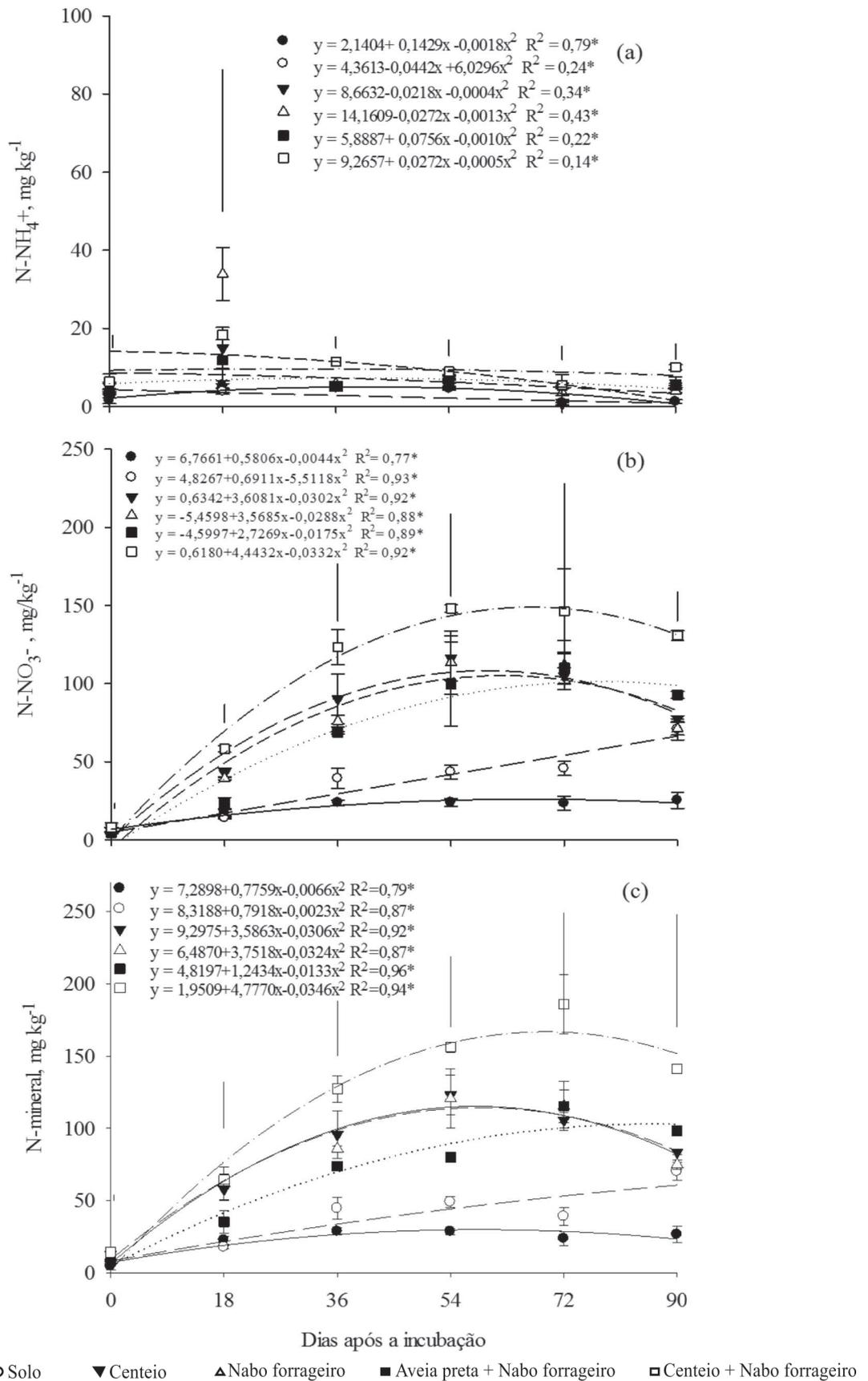


Figura 1. Teores de N-NH₄⁺ (a), N-NO₃⁻ (b) e N-mineral (c) no solo durante a sua incubação com a deposição de resíduos de aveia preta, centeio e nabo-forrageiro, solteiros e consorciados. (* = Significativo a 5% de probabilidade; em cada data as barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%).

sem adição de material vegetal (Figura 1B). Entretanto, os teores de $N-NO_3^-$ no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados no solo com a deposição de apenas nabo-forrageiro e centeio. Já, aos 36 DAI, o solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro apresentou os maiores teores de $N-NO_3^-$. Nesta mesma coleta, aos 36 dias, os teores nos solos que receberam centeio, nabo-forrageiro e aveia preta+nabo-forrageiro não diferiram entre si, tendo-se, porém, observado teores de $N-NO_3^-$ mais elevados que os verificados no solo com deposição de aveia preta e sem adição de material vegetal.

Os maiores teores de $N-NO_3^-$ no solo, após 54 e 72 dias de incubação, foram verificados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparados com os dos solos dos tratamentos com deposição de aveia preta e do tratamento sem adição de material vegetal (Figura 1B). Porém, os teores foram semelhantes, quando comparados com os dos solos dos tratamentos com a deposição de nabo-forrageiro, centeio e aveia preta+nabo-forrageiro. Já, aos 90 DAI, os teores de $N-NO_3^-$ no solo foram maiores no tratamento com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparados com os teores verificados nos tratamentos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e do solo sem adição de material vegetal.

O teor de N-mineral aumentou de forma quadrática no solo, ao longo dos dias de incubação (Figura 1C). Os teores de N-mineral no solo, no tempo zero, foram maiores no tratamento com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparados com os verificados nos tratamentos com a deposição de nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e solo sem adição de material vegetal (Figura 1C). Aos 18, 36 e 54 DAI, os maiores teores de N-mineral no solo foram observados nos tratamentos com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, em comparação com os observados nos tratamentos com a deposição de aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Os teores de N-mineral no solo com a adição de centeio+nabo-forrageiro, entretanto, foram semelhantes aos verificados nos tratamentos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro e nabo-forrageiro e centeio. Aos 72 DAI, os teores de N-mineral no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os observados nos tratamentos com aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Contudo, os teores de N-mineral, no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, não diferiram, estatisticamente, daqueles verificados nos solos dos tratamentos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 90 DAI, os teores de N-mineral no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro foram maiores que os verificados nos solos sem adição de material vegetal. Porém, os

teores de N-mineral no solo com deposição centeio+nabo-forrageiro foram semelhantes aos verificados nos tratamentos com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio e aveia preta.

Os maiores teores de $N-NH_4^+$ no solo com a deposição de nabo-forrageiro, por exemplo, aos 18 DAI, comparados com os demais tratamentos são explicados por seu teor de N total, que proporciona menor valor de relação C/N (Tabela 1), que confere rápida decomposição dos resíduos e, por consequência, mineralização de N para o solo, o que pode incrementar os teores de $N-NH_4^+$ (Janssens *et al.*, 2010). A diminuição dos teores de $N-NH_4^+$, ao longo do tempo, em todos os tratamentos, com exceção daquele sem deposição de material vegetal, é atribuída, especialmente, à nitrificação do $N-NH_4^+$ por micro-organismos nitrificadores (Geisseler *et al.*, 2009), que causam o aumento dos teores de $N-NO_3^-$ no solo (Figura 1B).

Os maiores teores de $N-NO_3^-$ e de N-mineral, no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, na maioria das coletas, são explicados, provavelmente, pela relação C/N do consórcio que foi de 16,31 (Tabela 1), que é menor que 20 e, por isso, estimula a mineralização (Azam *et al.*, 1993; Chaves *et al.*, 2004). Resultados similares foram obtidos por Neve *et al.* (2004), que relatam, em um experimento de incubação com a adição de plantas no solo, que a maior mineralização de N aconteceu no solo dos tratamentos com a deposição de material vegetal com menor relação C/N. No entanto, a maior mineralização de N no solo com a adição de centeio+nabo-forrageiro também é explicada, mesmo que em parte, pelos baixos teores de celulose e lignina, que proporcionaram um dos menores valores de relação celulose/lignina (Tabela 1) De acordo com Sanchez (2009), a lignina liga-se à celulose e à hemicelulose, formando uma barreira física na parede celular vegetal, promovendo resistência ao ataque microbiano. No entanto, em baixos valores da relação celulose/lignina, a decomposição do material vegetal é acelerada, proporcionando maior liberação de nutrientes logo após a deposição do material vegetal (Sainju *et al.*, 2007) Ressalta-se que os menores teores de $N-NO_3^-$ e N-mineral no solo, especialmente nas últimas datas de coleta (72 e 90 DAI), foram obtidos no solo com a adição de aveia preta e isto é atribuído, provavelmente, à imobilização de formas de N (Vargas *et al.*, 2005). Isso porque os teores de $N-NO_3^-$ e N-mineral foram menores que os observados no solo sem a deposição de material vegetal, e a aveia preta apresentava relação C/N de 22,36 (Tabela 1) (Chaves *et al.*, 2004).

Os teores de N-mineral líquido (N_{liq}), no tempo zero, foram similares com e sem a deposição de material vegetal (Figura 2A). Aos 18, 36 e 54 DAI, os maiores teores de N_{liq} foram verificados nos solos com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparados com solo com a

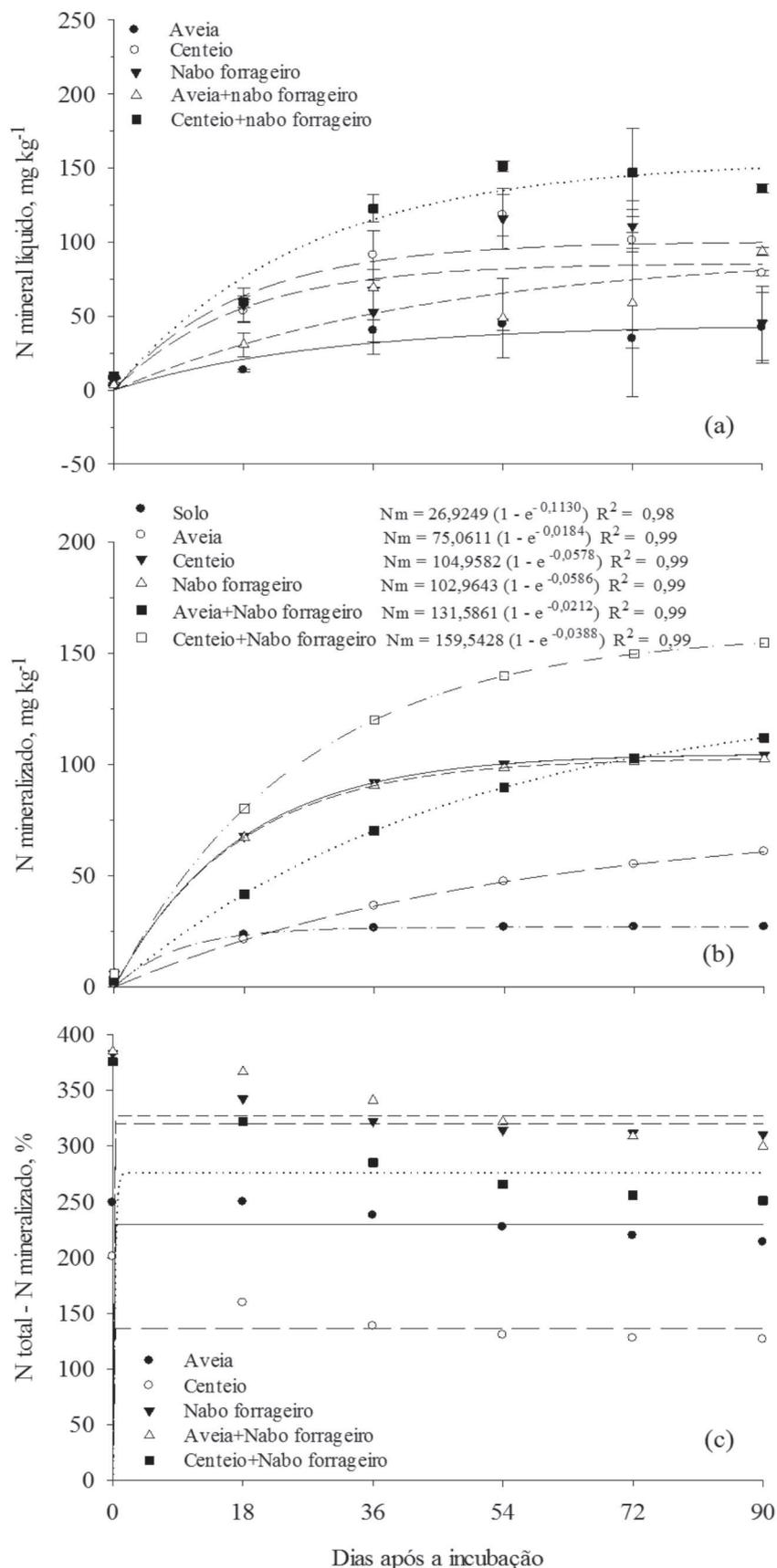


Figura 2. Teores de N mineral líquido (a), N mineralizado (b) e N total-N mineralizado (c) (mg kg⁻¹) no solo com e sem deposição de resíduos durante a incubação (*= Significativo a 5% de probabilidade; em cada data as barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%).

adição de aveia preta e do solo sem material vegetal. Entretanto, os teores de N_{liq} , no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro, não diferiram, estatisticamente, daqueles verificados nos solos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 72 DAI, os teores de N_{liq} , nos solos com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram maiores que os observados nos solos com a deposição de aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Contudo, os teores de N_{liq} , no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram semelhantes aos verificados nos solos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio. Aos 90 DAI, os teores de N_{liq} , no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram maiores que os verificados no solo sem a deposição de material vegetal. Porém, os teores de N_{liq} , no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram semelhantes aos observados nos solos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio e aveia preta. Em todas as datas avaliadas, nos solos com a deposição de centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro, os valores de N_{liq} foram positivos, indicando a mineralização de N (Aita *et al.*, 2004). Porém, no solo com a deposição de aveia preta, aos 18 e 72 DAI verificou-se valor de N_{liq} negativo, o que indica a imobilização de N (Souza *et al.*, 2011; Fioreze *et al.*, 2012) e, provavelmente, é explicado pelo valor da relação C/N (Tabela 1).

No início da decomposição, principalmente nas espécies com maiores valores da relação C/N, como, por exemplo, neste estudo a aveia preta, ocorre um pico de imobilização pelos micro-organismos (imobilização maior que a mineralização), o que provoca o consumo de formas de N-mineral do solo, derivadas da decomposição de resíduos da matéria orgânica (Heinrichs *et al.*, 2001). Assim, a imobilização microbiana de formas de N reduz a disponibilidade do nutriente para as plantas, como, por exemplo, a cebola. Porém, com o passar do tempo, ocorre o restabelecimento gradativo das transformações que acontecem no solo (imobilização igual à mineralização) e, a partir deste momento, os processos de transformação começam a liberar as formas de N, ora imobilizado, para a solução do solo. No entanto, a imobilização de N também é associada ao valor de lignina do resíduo e até à relação celulose/lignina (Rasse *et al.*, 2006; Heim & Schmidt, 2007; Sanchez, 2009). Isso porque os micro-organismos apresentam menor capacidade de colonização de resíduos com maiores teores de lignina, o que diminui a liberação de N, aumentando a quantidade imobilizada, tanto que a relação lignina/N apresenta correlação negativa com a mineralização de N (Vanlauwe *et al.*, 2005).

No tempo zero, os teores de N-mineralizado (Nm), nos solos com e sem a deposição de material vegetal, não

apresentaram diferença estatística (Figura 2B). Aos 18 DAI, o maior teor de Nm foi verificado no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, comparado com os observados nos solos com a adição de aveia preta+nabo-forrageiro, aveia preta e solo sem adição de material vegetal. Entretanto, o teor de Nm, no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro, não diferiu, estatisticamente, daquele observado no solo com a adição de centeio e nabo-forrageiro. Aos 36, 54, 72 e 90 DAI, os teores de Nm, no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, foram maiores que os observados nos solos com a deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro, centeio, aveia preta e no solo sem a deposição de material vegetal. Porém, os teores de Nm, nos solos, com deposição de aveia preta+nabo-forrageiro, nabo-forrageiro e centeio foram semelhantes (Figura 2B).

O modelo exponencial simples, proposto por Stanford & Smith (1972) (Figura 2B), ajustou adequadamente os resultados de Nm, em geral, similares aos de N_{min} no tempo zero e, aos 18, 36, 54 e 72 DAI, e estimou valores de N_0 similares ao N_{min} aos 90 dias (Figura 1C). Esses resultados concordam com os obtidos por Camargo *et al.* (1997), que, em dez solos representativos do Rio Grande do Sul e incubados durante 224 dias sem aplicação de N, relatam que o modelo estimou adequadamente os valores de N_0 , com os valores de N_0 ligeiramente inferiores aos de N_{min} acumulado aos 224 dias. O valor de N_0 foi maior no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro (159,54 mg de $N\ kg^{-1}$), em relação aos dos tratamentos com deposição de aveia preta+nabo-forrageiro (131,58 mg de $N\ kg^{-1}$), centeio (104,95 mg de $N\ kg^{-1}$), nabo-forrageiro (102,96 mg de $N\ kg^{-1}$), aveia preta (75,06 mg de $N\ kg^{-1}$) e solo sem a deposição de material vegetal (26,92 mg de $N\ kg^{-1}$). Esse comportamento é atribuído ao consórcio utilizado no tratamento centeio+nabo-forrageiro, que causou aumento do teor de N total no tecido (1,77) e diminuiu os valores da relação C/N (16,33) (Cabrera *et al.*, 2005) (Tabela 1).

O solo com a deposição de aveia preta, aveia preta+nabo-forrageiro, centeio+nabo-forrageiro, centeio, nabo-forrageiro e sem a deposição de material vegetal apresentaram k de 0,0184; 0,0212; 0,0388; 0,0576; 0,0578 e 0,1130, respectivamente (Figura 2B). Os maiores valores de k, nos solos sem a deposição de material vegetal, podem ser atribuídos ao teor de N total existente no solo e à sua baixa relação (C/N= 11,65).

Ao longo do período de incubação a deposição de espécies de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas na superfície do solo, que correspondeu do transplante até a bulbificação da cebola, observou-se, especialmente nos solos com deposição de centeio, nabo-forrageiro, aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro, aumento da disponibilidade de N-mineral, em especial, por causa do aumento dos teores de $N-NO_3^-$,

que foram em todos os dias de incubação maiores que os teores de $N-NH_4^+$. Mas, os maiores teores de N-mineral foram verificados no solo com a deposição do consórcio de centeio+nabo-forrageiro, que apresentou, especialmente, valores intermediários de lignina e relação C/N, em relação aos dos tratamentos aveia preta, centeio, aveia preta+nabo-forrageiro. Assim, espera-se que cebolas cultivadas em solos com a deposição de centeio+nabo-forrageiro se beneficiem de maior disponibilidade de N, o que contribui positivamente para seu crescimento e produção (Souza *et al.*, 2013). Além disso, a maior disponibilidade de N, no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, foi reforçada pelos maiores valores de N_{liq} e N-mineralizado, o que representa maior mineralização de N. Somando-se a isso, também no solo com deposição de centeio+nabo-forrageiro verificaram-se os maiores valores do potencial de mineralização de N, definido como a fração do N orgânico susceptível à mineralização (Stanford & Smith, 1972).

CONCLUSÕES

Os maiores teores de amônio, ao longo do experimento, que correspondeu do transplante até a bulbificação da cebola, foram observados nos solos com a deposição de nabo-forrageiro e do consórcio centeio+nabo-forrageiro.

Os maiores teores de nitrato e N-mineral, dos 36 até os 90 DAI, e de N-mineralizado, dos 18 até os 92 DAI, foram observados no solo com a deposição de centeio+nabo-forrageiro, correspondendo aos estádios de transplante até a bulbificação da cebola.

A taxa de mineralização foi positiva, em todas as datas de coleta, nos solos com deposição de centeio, nabo-forrageiro e dos consórcios aveia preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro. Mas, no solo com a deposição de aveia preta, os valores de N-líquido foram negativos aos 18 e 72 DAI, indicando imobilização de N.

A massa de nabo-forrageiro e o consórcio centeio+nabo-forrageiro apresentaram o maior potencial de mineralização, conferindo maior disponibilidade de N para a cebola, ao longo do seu ciclo.

Os valores da constante de mineralização (k) sugerem que a massa de aveia preta libera lentamente o nitrogênio para o solo cultivado com cebola.

AGRADECIMENTOS

À FAPESC, ao CNPq e à Capes pelas bolsas concedidas e recursos financeiros disponibilizados. Ao CNPq, pela concessão de bolsa em produtividade em pesquisa ao terceiro, quarto e sexto autor. À Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (Epagri), em Ituporanga (SC), pela disponibilidade da área experimental.

REFERÊNCIAS

- Aita C, Giacomini SJ, Hübner AP, Chiapinotto IC & Fries MR (2004) Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - dinâmica do nitrogênio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:739-749.
- Azam F, Smith DC, Steward GF & Hagström Å (1993) Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. *Microbial Ecology*, 28:167-179.
- Benbi D & Richer J (2002) A critical review of some approaches to modeling nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*, 35:168-183.
- Bonanomi G, Incerti G, Giannino F, Mingo A, Lanzotti V & Mazzoleni S (2013) Litter quality assessed by solid state ^{13}C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. *Soil Biology & Biochemistry*, 56:40-48.
- Cabrera ML, Kissel DE & Vigil MF (2005) Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal Environment Quality*, 34:75-79.
- Camargo FAO, Gianello C & Vidor C (1997) Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:575-579.
- Chaves B, De Neve S, Hofman G, Pascal B & Cleemput OV (2004) Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. *European Journal of Agronomy*, 21:161-170.
- Dilly O, Blume HP & Munch JC (2003) Soil microbial activities in Luvisols and Anthrosols during 9 years of region-typical tillage and fertilization practices in Northern Germany. *Biogeochemistry*, 65:284-299.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ªed. Rio de Janeiro, Embrapa. 374p.
- EPAGRI (2012) Recomendação de cultivares para o Estado de Santa Catarina. Florianópolis, EPAGRI. 142p. (Boletim Técnico, 72).
- Fioreze C, Ceretta CA, Giacomini SJ, Trentin G & Lorensini F (2012) Liberação do N em solos de diferentes texturas com ou sem adubos orgânicos. *Ciência Rural*, 42:1187-1192.
- Flower KN, Cordingley PR, Warda C & Weeksd (2012) Nitrogen, weed management and economics with cover crops in conservation agriculture in a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 132:63-75.
- Gandin CL, Thomazelli LF & Guimarães DR (2002) Estádios de desenvolvimento da cebola. *Agropecuária Catarinense*, 15:53-56.
- Geisseler D, Horwath WR & Doane TA (2009) Significance of organic nitrogen uptake from plant residues by soil microorganisms as affected by carbon and nitrogen availability. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:1281-1288.
- Giacomini SJ, Aita C, Miola ECC & Recous S (2008) Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32:2661-2668.
- Giacomini SJ (2005) Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio com o uso de dejetos de suínos. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 240p.
- Heim A & Schmidt MWI (2007) Lignin turnover in arable soil and grassland analysed with two different labelling approaches. *European Journal of Soil Science*, 58:599-608.

- Heinrichs R, Aita C, Amado TJC & Fancelli AL (2001) Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:331-340.
- Janssens IA, Dieleman W, Luysaert S, Subke JA, Reichstein M, Ceulemans R, Ciais P, Dolman AJ, Grace J & Matteucci G (2010) Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience*, 3:315-322.
- Joanisse GD, Bradley RL & Preston CM (2008) Do late-successional tannin-rich plant communities occurring on highly acidic soils increase the DON/DIN ratio? *Biology and Fertility of Soils*, 44:903-907.
- Månsson KF & Falkengren-Grerup U (2003) The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests. *Forest Ecology and Management*, 179:455-467.
- Meier EA, Thorburn PJ, Wegener MK & Basford KE (2006) The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 75:101-114.
- Mohanty M, Reddy KS, Probert ME, Dalala RC, Raob AS & Modelling NWM (2011) N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. *Ecological Modelling*, 222:719-726.
- Neve SD, Sáez SG, Daguila BC, Sleutel S & Hofman G (2004) Manipulating N mineralization from high N crop residues using on- and off-farm organic materials. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:127-134.
- Rasse DP, Dignac MF, Bahri H, Rumpel CA, Mariotti A & Chenu C (2006) Lignin turnover in an agricultural field: from plant residues to soil protected fractions. *European Journal of Soil Science*, 57:530-538.
- Sá JCM, Cerri CC, Lal R, Dick WA, Venzke filho SP, Piccol OM & Feigl B (2001) Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of American Journal*, 65:1486-1499.
- Sainju UM, Schomberg HH, Singh BP, Whitehead WF, Tillman PG & Lachnicht-Weyers SL (2007) Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Tillage Research*, 96:205-218.
- Sanchez C (2009) Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27:185-194.
- Séguy L, Bouzinac S & Husson O (2006) Direct-Seeded tropical soil systems with permanent soil cover: learning from Brazilian experience. In Uphoff N (Ed.) *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, Taylor and Francis Group. p.323-342.
- Souza HÁ, Natale W, Modesto VC & Rozane DE (2011) Mineralização do nitrogênio proveniente da aplicação do resíduo da indústria processadora de goiabas em Argissolo. *Bragantia*, 70:882-887.
- Souza M, Comin JJ, Leguizamón ES, Kurtz C, Brunetto G, Júnior VM, Ventura B & Camargo AP (2013) Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. *Ciência Rural*, 43:21-27.
- Stanford G & Smith S (1972) Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. *Soil Science Society American Journal*, 36:465-472.
- Sylvia D, Fuhrmann J, Hartel P & Zuberer D (2004) *Principles and Applications of Soil Microbiology*. 2ªed. New Jersey Prentice Hall. 672p.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H & Volkweiss SJ (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- Thorpe AS, Aschehoug ET, Atwater DZ & Callaway RM (2011) Interactions among plants and evolution. *Journal of Ecology*, 99:729-740.
- Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Linères D, Chèneby D & Nicolardot B (2000) Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society American Journal*, 64:918-926.
- Vahdat E, Nourbakhsh F & Basiri M (2011) Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *European Journal of Soil Biology*, 47:243-246.
- Vanlauwe B, Gachengo K, Shepherd E, Barrios G, Cadisch G & Palm CA (2005) Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1135-1145.
- Vargas LK, Selbach PA & Saccol de Sá EL (2005) Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. *Ciência Rural*, 35:76-83.