

THIAGO DE OLIVEIRA VARGAS

**CONTRIBUIÇÃO DO N PROVENIENTE DE PARTES DE ADUBOS
VERDES EM CULTIVOS SUCESSIVOS**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V297c
2012

Vargas, Thiago de Oliveira, 1982-
Contribuição do N proveniente de partes de adubos verdes
em cultivos sucessivos / Thiago de Oliveira Vargas. – Viçosa,
MG, 2012.
ix, 38f. : il. ; 29cm.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Leguminosa. 2. Adubação verde. 3. Nitrogênio -
Fixação. 4. Nitrogênio - Isótopos. 5. Leguminosa - Raízes.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22. ed. 633.3

THIAGO DE OLIVEIRA VARGAS

**CONTRIBUIÇÃO DO N PROVENIENTE DE PARTES DE ADUBOS
VERDES EM CULTIVOS SUCESSIVOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de dezembro de 2012.

Teógenes Senna de Oliveira

Tatiana Pires Barrella

Gilberto Bernardo de Freitas
(Coorientador)

Mário Puiatti

Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

A **DEUS**, por me conceder força, saúde e sabedoria para buscar meus ideais, permitindo-me crescer profissionalmente e espiritualmente; aos meus amados pais, **Sandra e Ricardo**, pela vida, esforço e dedicação, e principalmente pelo amor, carinho e ensinamentos constantes; às minhas queridas irmãs, **Renata, Sabrinne e Larissa**, e a todos os **amigos e familiares**, companheiros de jornada, pelo apoio, incentivo e amizade, e à minha amada esposa **Bianca**, com amor, admiração e gratidão pela sua compreensão, carinho e incentivos,

DEDICO

Ao meu querido **Vovô Aloísio** (*in memoriam*), grande amigo, companheiro, trabalhador incansável que com seus conhecimentos “empíricos” muito me ensinou, aos meus amados Vovô Zé, Vovó Tetê e Vovó Elza (*in memoriam*), por todo o amor,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A todos os meus ex-professores e amigos, especialmente àqueles medidores da minha formação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ; Embrapa Agrobiologia; PESAGRO-RIO; Universidade Federal de Viçosa – UFV, minha homenagem e eterna gratidão.

Ao professor Ricardo Henrique Silva Santos, pela orientação, amizade e incentivo às novas conquistas, minha sincera gratidão.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

BIOGRAFIA

THIAGO DE OLIVEIRA VARGAS, filho de Sandra Cristina de Oliveira Vargas e Ricardo Cesar Coutinho Vargas, nasceu no dia 03 de março de 1982, no município de Niterói, Rio de Janeiro.

Em maio de 2002, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, vindo a concluí-lo em fevereiro de 2007.

Em março de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia, setor de Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 2009.

Em agosto de 2009, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia, setor Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa, concluindo em dezembro de 2012.

Em setembro de 2011, iniciou o Doutorado Sanduíche em Ecologia do Solo e Agroecologia na University of California campus Santa Cruz (Department of Environmental Studies), concluindo-o em julho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Capítulo 1 - Nitrogen contributions from legume roots to cabbage nutrition.	
Abstract.....	3
Introduction.....	3
Materials e Methods.....	5
Results.....	10
Discussion.....	10
Conclusion.....	13
References.....	13
Tables.....	17
Capítulo 2 - Utilização do N do adubo verde crotalária no cultivo sequencial de brócolis, abobrinha e milho.	
Resumo.....	22
Introdução.....	22
Material e Métodos.....	24
Resultados.....	27
Discussão.....	28
Conclusões.....	30
Referências.....	31
Figuras.....	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37

RESUMO

VARGAS, Thiago de Oliveira. D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2012. **Contribuição do N proveniente de partes de adubos verdes em cultivos sucessivos.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero e Gilberto Bernardo de Freitas.

Foram conduzidos três experimentos. Os experimentos 1 e 2 teve como objetivo avaliar o efeito da raiz, parte aérea e planta inteira de crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) no fornecimento de N para a cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), determinando a transferência do N-Leguminosa e do valor fertilizante do adubo verde (Valor A). O experimento 3 teve como objetivo avaliar a eficiência de utilização do N no cultivo de brócolis, na sucessão abobrinha italiana-milho, sob doses do adubo verde *Crotalaria juncea*, marcada com ^{15}N . O primeiro experimento foi conduzido em vasos em casa de vegetação e os outros dois em campo. Os experimentos 1 e 2 consistiram de sete tratamentos em esquema fatorial $(2 \times 3) + 1$, sendo 2 espécies de leguminosas e 3 partes das plantas (raiz, parte aérea e planta inteira) e 1 tratamento adicional (adubação mineral de 50% da dose recomendada de N). O princípio do Valor A foi utilizado para obter o valor fertilizante e a transferência do N-Leguminosa de cada parte das plantas. O experimento 3 consistiu do estudo do efeito residual do N proveniente da adubação verde realizado num sistema de sucessão de culturas organizado em três cultivos. O primeiro cultivo foi o de brócolis, o segundo e o terceiro cultivos constaram das culturas abobrinha italiana e milho, respectivamente. Foram estabelecidos três tratamentos correspondentes às doses de adubo verde de 3, 6 e 9 t ha^{-1} , em base de matéria seca, com adição de 12 t ha^{-1} de composto orgânico em base de matéria seca. A determinação da eficiência de utilização do N da crotalária nas culturas baseou-se no princípio da diluição isotópica. Nos experimentos 1 e 2, a transferência do N-Leguminosa e o valor fertilizante proveniente da planta inteira ($45,06\%$ e $159,26 \text{ kg ha}^{-1}$ na forma de N-uréia) foi maior que da parte aérea ($24,93\%$ e $63,25 \text{ kg ha}^{-1}$ na forma de N-uréia), que por sua vez foi maior que o N-Leguminosa no repolho cultivado sobre as raízes das leguminosas ($17,87\%$ e $40,07 \text{ kg ha}^{-1}$ na forma de N-uréia) em vasos. Plantas de repolho no campo cultivadas sobre as raízes de leguminosas apresentaram valores negativos de transferência de N-Leguminosa ($-13,59\%$ para crotalária e $-3,51\%$ para feijão de porco), assim como o valor fertilizante das raízes foi negativo ($-18,62 \text{ kg ha}^{-1}$). Em condições de campo, a parte aérea e planta inteira apresentaram altos valores de transferência do N-Leguminosa (*C. juncea*, parte

aérea= 24,35% e planta inteira= 24,46% e *C. ensiformis*, parte aérea= 13,53% e planta inteira= 18,53%) e para a cultura do repolho e de valor fertilizante (parte aérea= 76,33 e planta inteira= 96,47 kg ha⁻¹ na forma de N-uréia). No experimento 3, o % do N no brócolis, abobrinha e milho proveniente do adubo verde obtidos na maior dose do adubo verde aplicado foram de 74,39; 47,42 e 19%, respectivamente. A quantidade de N no brócolis, abobrinha e milho proveniente do adubo verde, aumentaram com o incremento das doses do adubo verde aplicado, alcançando valores de 58,82; 31,95 e 9,98 kg ha⁻¹ na maior dose testada, respectivamente. No cultivo em vasos (experimento 1), o maior valor fertilizante da leguminosa e a maior transferência de N-Leguminosa para o repolho foram obtidos com o cultivo com a aplicação da planta inteira. As raízes das leguminosas possuem o menor valor fertilizante e resultam na menor transferência de N-Leguminosa para a cultura do repolho. As espécies de adubo verde apresentaram valor fertilizante similares. No cultivo em campo (experimento 2), a parte aérea ou a planta inteira de leguminosas resultaram em maiores valores da transferência do N-Leguminosa e maior valor fertilizante. Raízes de leguminosas resultaram em teor zero de N-leguminosa em repolho. No experimento 3, a maior fração do N residual da crotalária foi aproveitada obedecendo a sequência de culturas brócolis, abobrinha e milho, sendo o aproveitamento, em média, do N proveniente do adubo verde de 28,50% para o brócolis, 16,22% para a abobrinha e 5,58% para o milho. Totalizando um aproveitamento de 50,3% do N proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*.

ABSTRACT

VARGAS, Thiago de Oliveira. D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, december of 2012. **Contribution of N from parts of green manure on crop rotation.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero e Gilberto Bernardo de Freitas.

Three experiments were conducted. Experiments 1 and 2 was to evaluate the effect of root, shoot and whole plant of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) in supplying N to the cabbage crop (*Brassica oleracea* var. *capitata*) determining the transfer of legume-N and the fertilizer value of green manure (A Value). The third experiment aimed to evaluate the efficiency of N utilization in growing broccoli in succession zucchini-corn under doses of green manure *Crotalaria juncea*, labeled with ^{15}N . The first experiment was conducted in pots in the greenhouse and the other two in the field. Experiments 1 and 2 consisted of seven treatments in factorial (2x3) +1, 2 species of legume and 3 plant parts (root, shoot and whole plant) and 1 additional treatment (50% of mineral fertilizer of N recommended dose). The principle of the A Value was used to obtain the fertilizer value and transferring the N-portion of each legume plants. Experiment 3 consisted of the study of the effect of residual N from green manure carried on a system of crop succession organized into three crops. The first crop was the cultivation of broccoli, the second and third crops consisted of zucchini and corn, respectively. Three treatments were established corresponding to green manure doses of 3, 6 and 9 t ha⁻¹ at a dry matter basis, with addition of 12 t ha⁻¹ compost in a dry matter basis. The determination of the efficiency of N utilization of sunnhemp in the crops was based on the principle of isotopic dilution. In experiments 1 and 2, the transfer of legume-N and fertilizer value from whole plant (45,06% and 159,26 kg ha⁻¹ as N-urea) was greater than shoot (24,93% and 63,25 kg ha⁻¹ as N-urea), which in turn was higher than the legumes-N in cabbage grown on the roots of legumes (17,87% and 40,07 kg ha⁻¹ in the form N-urea) in pots. Cabbage plants cultivated in the field on the roots of legumes had negative values for legume-N transfer (-13,59% for sunnhemp and -3,51% for jack bean) and -18,62 kg ha⁻¹ for fertilizer value. Under field conditions, the shoot and whole plant showed high levels of transfer of legumes-N (*C. juncea*, shoot = 24,35% and 24,46% = whole plant and *C. ensiformis*, shoots = 13,53% and whole plant = 18,53%) and for fertilizer value (shoot= 76,33 and whole plant= 96,47 kg ha⁻¹ as N-urea). In experiment 3, the % of N in broccoli, zucchini and corn from the green manure obtained at the highest dose of green manure was 74,39; 47,42 and 19%, respectively. The amount of N in broccoli, zucchini

and corn from the green manure, increased with increasing doses of applied green manure, reaching values of 58,82; 31,95 and 9,98 kg ha⁻¹ at the highest tested dose, respectively. In pot cultivation (experiment 1), the highest fertilizer value and legumes-N transfer for cabbage cultivation were obtained with the application of the whole plant. The roots of legumes have the lowest fertilizer value and result in less transfer of legumes-N for growing cabbage. The species of green manure had similar fertilizer value. In field cultivation (experiment 2), the shoot or whole plant legumes parts resulted in higher values of legume-N transfer and fertilizer value. Roots of legumes resulted in zero content of legume-N in cabbage. In experiment 3, the largest fraction of residual N sunnhemp was used obeying the sequence of crops broccoli, zucchini and corn, and the recovery of N from green manure was 28,50% for broccoli, 16,22% for zucchini and 5,58% for corn. A total recovery of 50,3% of N from *Crotalaria juncea* green manure.

INTRODUÇÃO GERAL

Quantificar nitrogênio (N) do sistema radicular de leguminosas é fundamental para a compreensão dos seus efeitos, tanto sobre o N-mineral e a fertilidade do solo quanto sobre o suprimento de N para as culturas em consórcios ou subsequentes às leguminosas, com base em sistemas de rotações. Estudos recentes sobre os efeitos das raízes de leguminosas ou sobre o efeito residual das mesmas são iniciais e precisam ser confirmados, revalidados e aprofundados com novas pesquisas.

O N fixado pelas leguminosas é incorporado no solo não só como folhas e caules caídos, mas também como raízes, nódulos e exsudados radiculares. Apesar do N das raízes ser substancial, devido à dificuldade de quantificação, essas frações são ignoradas ou estimadas quando balanços de N são construídos. Os métodos diretos de quantificação, como escavação para coleta de raízes e determinação do teor de N têm sido amplamente utilizados por pesquisadores, entretanto, sua eficiência é contestada, por considerar apenas o N presente nas raízes visíveis, ignorando o N do solo derivado das raízes, tanto em forma de raízes remanescentes (fragmentos radiculares não recuperados), como proveniente de exsudados e raízes mineralizadas durante o desenvolvimento da planta. Devido às dificuldades em recuperar fisicamente as raízes e estimar o N do sistema radicular de plantas, considerável esforço tem sido posto em desenvolvimento de métodos baseados em ^{15}N . Isto tem importantes implicações para a compreensão das potenciais contribuições das leguminosas no aporte de N aos sistemas agrícolas e pode afetar a gestão desses sistemas.

Quando se trata de culturas de ciclo curto, como as olerícolas, nem todo o N do adubo verde é aproveitado num único ciclo de cultivo, mesmo que o adubo verde tenha uma alta taxa de decomposição e mineralização. Em curto prazo, em apenas um ciclo de cultivo da olerícola, parte do N contido no adubo verde pode ser considerado no suprimento nitrogenado da cultura. Parte do N pode ser perdida por lixiviação ou volatilização. A outra parte do N do adubo verde não aproveitada neste ciclo de cultivo vai para a matéria orgânica do solo e parte ainda fica no material vegetal ainda em decomposição, até que o adubo verde se decomponha completamente. Esse N residual deve ser considerado e pode ser aproveitado por culturas subsequentes em um sistema de sucessão.

O principal destino do N-fertilizante não absorvido pelas plantas é o solo. Esse N fica na camada superficial se incorpora a microbiota do solo e, posteriormente, na sua matéria orgânica. Entretanto, ainda não se sabe o destino do N nos compartimentos da

matéria orgânica do solo, nem a intensidade e a durabilidade do efeito residual para as culturas subsequentes. É importante quantificar e monitorar o efeito residual visando aumentar o benefício agrônômico da utilização do N derivado dos adubos verdes nos sistemas de cultivos. Considerando o efeito residual é possível diminuir a quantidade da adubação nitrogenada nas culturas. Esse efeito residual da adubação verde pode ser monitorado através de um sistema de sucessão de culturas olerícolas. Entretanto ainda não se sabe nem a intensidade e nem a durabilidade do efeito residual para as culturas subsequentes.

O efeito residual do N do adubo verde num sistema de sucessão de culturas olerícolas pode estar relacionado com sua forma química no solo, ou também com a quantidade de N na forma orgânica aplicada, assim como transformações do N nos diversos compartimentos da matéria orgânica do solo. É importante quantificar e monitorar esse efeito residual visando aumentar o benefício agrônômico da utilização do N derivado do adubo verde nos sistemas de cultivos.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a transferência do N proveniente da adubação verde para culturas em sucessão.

CAPÍTULO 1

Nitrogen contributions from legume roots to cabbage nutrition

Abstract

The effect of the roots is generally not considered in studies assessing the performance of crops in response to green manure. However, measuring such effects can contribute to a better understanding of crop rotation. In two experiments, we evaluated the content (%) of legume-N on crop tissue and the fertilizer value from two legumes' roots and shoots. Roots, shoots or whole plants of the legumes sunnhemp (*Crotalaria juncea*) and jack beans (*Canavalia ensiformis*) were cropped as green manure to supply nitrogen to cabbage crops (*Brassica oleracea* var. *capitata*). The principle of the A-value technique was applied to estimate the fertilizer value of each plant part. In pot experiment, both the content of legume-N on cabbage and the fertilizer value from the whole plant was higher than the shoots, which was in turn higher than that of the roots. In field condition, roots had a negative effect on decreasing the content of N on cabbage plants. Growing cabbage on legume roots residue resulted in an increase in absorption of ^{15}N -urea, resulting in negative values for legume-N content, -13.59% and -3.51% for sunnhemp and jack beans, respectively. Legume roots decreased the content of legume-N on cabbage, suggesting both low N supply by roots and N immobilization in soil organic matter or microbial biomass.

Keywords: Green manure; root; crop rotation; ^{15}N ; *Brassica oleracea* var. *capitata*; *Crotalaria juncea*; *Canavalia ensiformis*

Introduction

The influence of green manure legume mass on soil nitrogen (N) availability and vegetable crop yields has been reported by Collins et al. (2007), Diniz et al. (2007), and Schellenberg et al. (2009). However, in most studies assessing the effects of green manure on crop performance, the roots of the legumes generally have not been considered.

Quantifying the N in the legume root systems is fundamental to understanding its effects on soil mineral N fertility and on the supply of N to crops in legume-based rotations (Khan et al., 2002b).

Studies have shown that N derived from legume rhizodeposits (root exudates, root fragments and fine roots) after grain production contributed to an increase of 35-44% in residual N content in soil and constituted 79-85% of the below-ground N of plants at maturity (Mayer et al., 2003). Other studies (Jensen, 1996; Sawatsky and Soper, 1991) reported that, of the total below-ground N derived from plants, 47% originated from root depositions. Russell and Fillery (1996a) verified that the deposition of lupine root accounted for 65% of total residual N in the soil.

Direct methods of quantification of root N, such as physical recovery of roots, have been widely employed. However, their effectiveness is disputed (Khan et al., 2002a, b; McNeill et al., 1997; Russell and Fillery, 1996a, b), as they consider only the N present in the visible roots and ignore N in the unrecovered root fragments, such as those descended from exuded and mineralized roots during plant development (Wichern et al., 2007a, b; Wichern et al., 2008).

Because of the difficulty of physically recovering the roots and estimating below-ground plant N, considerable effort has been made with developing methods based on its isotopic labeling with ^{15}N .

The estimated contribution of N derived from legumes (legumes-N: soil N + N-BNF accumulated in biomass), can be determined indirectly using a fertilizer labeled with ^{15}N as a reference, based on the principles of the A-value technique. The A-value technique is an isotopic method that is based on the assumption that the assimilation of different N sources by plants is directly proportional to the N available from each source (Chalk, 1996; Fried and Dean, 1952). The A-value technique can be used to quantify the contributions of green manure N-roots for subsequent crops. One of the main requirements of this technique is associated with the location of the reference fertilizer in the soil so that it minimizes its interaction with the soil and the N sources under study.

The amounts of nitrogenous compounds released from legume root increase immediately after cutting the shoots (Choi et al., 2008). Plants that are cut during their vigorous vegetative stage, showing high activity of N_2 fixation, roots and root nodules, have higher N contents. Harvesting of the above-ground part for green manures in/on that stage might induce releasing substantial amounts of N compounds from root systems. However, little is known about contribution of below-ground parts of green manure legumes to the N nutrition of the succeeding crops.

For this reason, our main hypothesis was that legume's roots would contribute positively to cabbage N supply. The objective of this study was to evaluate the

contributions of the previous roots, shoots and whole plants of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) and jack beans (*Canavalia ensiformis*) on the supply of N for cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) crop and to determine the content of legume-N on cabbage and the fertilizer value of the legume parts to the cabbage.

Materials and Methods

We conducted two experiments in which legumes parts were applied to soil labeled with ^{15}N followed by cabbage cultivation in the same area. In this study the biological N fixation (BNF) of legume crops was estimated with the ^{15}N natural abundance technique (Boddey et al., 2001). The determination of the content of legumes-N in the cabbage was determined by applying the principle of the A-value technique (Boddey and Urquiaga, 1992), for which the reference fertilizer is located in the soil, looking up the lowest interaction with the soil and the green manures in the study.

Pot experiment

The experiment adopted a (2 x 3) + 1 factorial design. The treatments were two legumes and three plant parts (roots, shoots and whole plant) and one additional treatment (mineral fertilizer with 50% of recommended N dose). The experiment was set in completely randomized blocks with five replicates, totaling 35 plots of one plant per plot. The treatments were as follows: MF50 (Mineral Fertilizer 50% of recommended N dose), SRO MF50 (Sunnhemp Root + MF50), SSH MF50 (Sunnhemp Shoot + MF50), SWP MF50 (Sunnhemp Whole Plant + MF50), JBRO MF50 (Jack Beans Root + MF50), JBSH MF50 (Jack Beans Shoot + MF50) and JBWP MF50 (Jack Beans Whole Plant + MF50).

Soil and legume production

Legumes were grown in ten liters pots filled with soil and sand in a 2:1 ratio. The final substrate had the following chemical characteristics after application of lime and single superphosphate: 5.80 g kg⁻¹ of organic matter (Walkley-Black), pH in water (1:2.5) 5.34, 56 mg dm⁻³ available P (Mehlich I) and exchangeable cations: 86 mg dm⁻³ K (Mehlich I) and 2.45 cmol_c dm⁻³ Ca, 0.63 cmol_c dm⁻³ Mg, 0.00 cmol_c dm⁻³ Al (KCl 1M).

Legume seeds were inoculated with appropriate bacteria of the genus *Bradyrhizobium* produced by the following strains from the Embrapa Agrobiologia culture collection: *Crotalaria juncea* – BR2001 and *Canavalia ensiformis* – BR2003. Ten pots were planted with sunnhemp and ten with jack beans, sowing nine sunnhemp

seeds and six jack beans seeds per pot. One week after the emergence of legumes, plants were thinned to three sunnhemp and two jack beans plants in each pot. The legumes were cut at ground level 78 days after sowing.

For the root treatment (RO), the shoots of the legumes were removed and the roots were kept in the soil. For the shoot treatment (SH), the removed shoots were applied in another pot. For the whole plant treatment (WP), the shoots were cut but the shoot biomass was not removed from the pot. The whole plant mass was determined by summing the root and shoot masses of legume plants. Extra pots were cultivated with non-N₂-fixing reference species (Table 1) to determine the value of $\delta^{15}\text{N}$ of the soil and thus estimate the contribution of BNF in legumes applying the ¹⁵N natural abundance technique (Boddey et al., 2001).

Cabbage cultivation

After the measuring of shoot biomasses of the legumes, the shoots were chopped using a paper guillotine and then redistributed on soil surface for SH or WP treatments, to reduce the effect of the soil macrofauna absence in the pots. In the RO treatments the roots were not chopped and the soil was slightly loosened in order to receive the cabbage seedlings. 'Matsukaze' cabbage seedlings were then planted in the same pots, following the application of each treatment. The cabbage plants were grown in pots for 100 days and then harvested.

The N fertilizer was applied at a rate of 50 mg (kg soil)⁻¹ N, corresponding to 0.6 g pot⁻¹ N, equivalent to 50% of the recommended N dose (Vargas et al., 2012). The N fertilizer, in the form of urea with 3% ¹⁵N a.e. (atoms excess), was added immediately after transplant, in a small hole at a depth of 1 cm close to the seedling. The plants were irrigated daily, keeping the soil moisture around 80% of water holding capacity. During the experiment, all leachate liquid after irrigation was collected in plastic plates and returned to the pots.

Next, 70 mg (kg soil)⁻¹ K and 1.0 g pot⁻¹ of combined micronutrients (FTE BR-12) were applied. The entire supply of phosphorus (single superphosphate), calcium and magnesium (calcined dolomitize lime) had been applied in the preparation of the sand and soil mixture before sowing the legumes.

Field experiment

Soil and legume production

Treatments and experimental design were the same as in the pot experiment. The cultivation was carried out in a Haplic Cambisol (FAO, 1998), Viçosa MG - Brazil 20° 45' S 42° 51' W, with the following chemical characteristics in the 0-20 cm layer: 26.60 g kg⁻¹ of organic matter (Walkley-Black), pH in water (1:2.5) 5.49, 30 mg dm⁻³ available P (Mehlich I) and exchangeable cations: 176 mg dm⁻³ K (Mehlich I) and 3.04 cmol_c dm⁻³ Ca, 0.50 cmol_c dm⁻³ Mg, 0.00 cmol_c dm⁻³ Al (KCl 1M).

Before sowing the legumes, the soil was ploughed incorporating mainly jungle rice grass (*Echinochloa colona*), grated and furrowed. A single superphosphate fertilizer was applied in the planting furrows at a dose of 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ according to usual recommendation for horticultural crops in Brazilian soils. Weed control was accomplished manually. The legume seeds were inoculated with appropriate bacteria of the genus *Bradyrhizobium* as described earlier. Sunnhemp was planted at a rate of 25 seeds per meter and jack beans at 7 seeds per meter, with 80 cm between rows.

Legumes were cut at ground level 118 days after planting. After cutting the legumes, parts were distributed as described in Pot experiment (Soil and legume production) section. Where legumes were not planted, non-N₂-fixing reference species were grown to determine the δ¹⁵N value of the soil and to estimate the legumes' BNF using the natural abundance of ¹⁵N.

Cabbage cultivation

'Matsukaze' hybrid cabbage seedlings were transplanted into the rows in which the legumes had been planted in the day after the legumes were cut. Plants were spaced 0.80 m by 0.50 m, totaling 25 plants per plot. The experimental plot was comprised of nine central plants.

Nitrogen fertilization was applied to the cabbage at a dose of 75 kg ha⁻¹ N, which corresponds to 50% of the recommended dose of N; this fertilization was carried out at the time of transplanting so as not to affect the legumes' mineralization and decomposition processes. Within each experimental plot, a central micro plot of four cabbage plants was established in which the N fertilizer was added immediately next to the seedling in the form of urea with 2% ¹⁵N a.e. in a small, 1-cm-deep hole. The remaining plants received the same dose of N in the form of commercial urea.

Phosphorus had been applied to all plots when the legumes were planted. Potassium was applied at a dose of $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, with one-third applied at transplant followed by two equal applications at 37 and 57 days after transplant. FTE BR-12 was also applied at transplant in a dose of 62.5 kg ha^{-1} . On average, the equivalent of 204, 518 and 721 kg N ha^{-1} from root, shoot, and whole plant treatment were added to the cabbage crop, respectively. For details about estimated legumes' biomass production, N content, C:N ratio and nutrient accumulation, please see Vargas et al. (2011; 2012). The cabbage plants were grown in the field for 92 days and then harvested.

Sample collection and analysis in cabbage and legumes

After collecting the plants, representative fractions of the whole shoot (stem, leaf, and head) were removed, on the basis of the proportions of fresh matter. These samples were washed with deionized water, dried on paper towels and then placed in paper bags and dried in an oven of forced air ventilation at $65 \text{ }^\circ\text{C}$ until constant mass was reached. The material was then stored and ground for later determination of total N (Kjeldahl) and ^{15}N content, allowing determination of the content of legume-N to the cabbage.

The BNF of sunnhemp and jack beans was estimated using the ^{15}N natural abundance technique (Shearer and Kohl, 1986; Boddey et al., 2001) with a Finnigan MAT[®] model Delta Plus[®] mass spectrometer. The characterization of the legumes regarding BNF, grown in pots, were 89,28 and 94,97% for sunnhemp and jack beans, and 46,39 and 55,81%, respectively, for legumes grown in the field (Table 1).

Content of legume-N on cabbage and determination of the fertilizer value of legume root, shoot and whole plant mass

The fertilizer value of legume-N was estimated using the principle of the A-value technique (Fried and Dean, 1952; Boddey and Urquiaga, 1992). The content of N from legume roots', shoots' and whole plants' in cabbage plants (% N-leg) and the legumes' A-value (Av) for cabbage crop was determined with the equations given in the next sections.

Cabbage control (no legumes)

a) % fertilizer-N in cabbage control (%Nfert.):

$$\% \text{Nfert.} = (\% \text{ }^{15}\text{N a.e. plant} / \% \text{ }^{15}\text{N a.e. fert.}) 100 \quad (1)$$

b) % soil-N in cabbage control (%Nsoil):

$$\% \text{Nsoil} = (100 - \% \text{ Nfert.}) \quad (2)$$

c) A-value Soil (As):

$$(\%N_{\text{soil}} / A_s) = (\%N_{\text{fert.}} / N_{\text{fert. applic.}}) \quad (3)$$

Cabbage (with legumes)

d) % fertilizer-N in cabbage with legumes (%Nfert.leg.):

$$\%N_{\text{fert.leg.}} = (\%^{15}\text{N a.e. plant} / \%^{15}\text{N a.e. fert.}) 100 \quad (4)$$

e) % soil-N in cabbage with legumes (%Nsoil leg.):

$$(\%N_{\text{fert.leg.}} / N_{\text{fert. applic.}}) = (\%N_{\text{soil leg.}} / A_s) \quad (5)$$

f) % legumes-N in cabbage (% N-leg. cabbage):

$$\% \text{ N-leg. cabbage} = 100 - (\% N_{\text{fert.leg.}} + \% N_{\text{soil leg.}}) \quad (6)$$

g) A-value Soil + legumes ($A_{(s+\text{leg.})}$):

$$100 - (\%N_{\text{soil leg.}} / A_{(s+\text{leg.})}) = (\%N_{\text{fert.leg.}} / N_{\text{fert. applic.}}) \quad (7)$$

h) Legumes A-value (A_v):

$$A_v = (A_{(s+\text{leg.})} - A_s) \quad (8)$$

where

%Nfert. = percentage of N derived from fertilizer in control cabbage plants;

%¹⁵N a.e. plant = percentage of atoms ¹⁵N in excess of those in the cabbage plants;

%¹⁵N a.e. fert. = percentage of atoms ¹⁵N in excess of those in the fertilizer (urea) applied;

%Nsoil = percentage of N derived from soil in control cabbage plants;

A_s = amount of N available in soil in kg ha^{-1} equivalent to the urea form;

$N_{\text{fert. applic.}}$ = amount of N fertilizer applied in kg ha^{-1} ;

%Nfert. leg. = percentage of N derived from fertilizer in cabbage plants grown with legume root, shoot or whole plant treatments;

%Nsoil leg. = percentage of N derived from soil in the cabbage plants grown with legumes root, shoot or whole plant treatments;

%N-leg. Cabbage = percentage of N in cabbage plants derived from legumes root, shoot or whole plant;

$A_{(s+\text{leg.})}$ = amount of N available in the soil and from legume parts in kg ha^{-1} ;

A_v = amount of N available from legumes parts in kg ha^{-1} expressed in the urea form.

The variance of the data was analyzed with the F test, comparing the averages with the Tukey test at 5% probability. Statistical analyses were performed with the software SAEG (Funarbe, 2007).

Results

Pot experiment

The application of different legume parts did not affect the N content of the cabbage plants (Table 2). The legume-N content on cabbage grown on the whole plants of legume biomass was greater than that grown on shoot biomass, which was in turn greater than that grown on roots biomass.

As expected, the fertilizer value (A-value) of the whole legume plants as a source of N was higher than that of the other parts (Table 2), once the total N applied was significantly higher than that of the other parts.

Field Experiment

Although the variance analysis indicated an effect of the interaction between legume species and parts on legume-N taken up by cabbage, there was no significant difference ($p \geq 0.05$) between species for each legume part (Table 3). Differences in the content of legume-N on cabbage were only found due to different legume parts.

Application of the whole legume plant to cabbage resulted in higher N content compared with cabbage cultivated on the legume roots (Table 4). Cabbage plants grown on legume roots did not present any N from legume (Table 3).

The fertilizer values of the legume whole plants and shoots were similar, and both were higher than the zero values found in plants grown on legume roots (Table 4). The root treatment resulted in a higher value of % ^{15}N a.e. when compared with the other parts (Table 5).

Discussion

Pot experiment

The application of the whole plant resulted in a higher fertilizer value (Av) in the urea form. These results were associated directly with the amounts of N applied to legume parts used as green manure.

The higher values of the content of legume-N on cabbage were found in the pot experiment compared to the field experiment. Because of the specific nature of the pot experiment, with a relatively small soil volume per plant, the root density will be higher and the shoot-to-root ratio will be shifted in favor of the shoot compared with field conditions (Mayer et al., 2003; Wichern et al., 2007b).

In the pot experiment, loss of N from urea and legume plants through leaching was avoided by returning leachate to the pots. Because of the possibility of

volatilization by urea, care was taken to apply it deep in small holes in the soil. However, this procedure may have enhanced the process of N loss by volatilization from the legume shoots placed on the pots surface, once up to 14% of N can be volatilized when not incorporated into the soil (Janzen and McGinn, 1991). This loss could have reduced the effect of legume species used as green manure in the study. In addition, nitrification and denitrification may also influence other types of N loss. Some studies have observed higher denitrification activity and N₂O fluxes after retaining residues on the land (FAO, 2001). This effect may be related to the effect of residues on the soil surface on moisture conditions of the topmost soil layer. The incorporation of residues also causes accelerated NO emissions.

Field experiment

Cabbage plants grown on legume root biomass presented zero values of legume-N. Roots had a negative effect on the availability of N to cabbage. We suggested that this finding may be attributed to the lower content of N from root fragments and because the N mineralized from root decomposition had been immobilized by the microbial biomass or incorporated into soil organic matter, as reported by Mayer et al. (2003). However, the competition of the plant and the microbial biomass for N uptake was not directly measured in the present experiment.

In this case, there would increase plant uptake of ¹⁵N-urea, resulting in negative values for legume-N content. This theory is supported by the data on N content in the cabbage mass grown on legume roots, which is lower than that of the other treatments.

The high concentration of N derived from organic sources in the soil is often quoted in literature, with values ranging between 44 and 89% of N for green manures and between 12 and 53% for mineral fertilizers (Azam et al., 1985; Harris and Hesterman, 1990; Harris et al., 1994; Scivittaro et al., 2003). This higher concentration is partially due to the greater absorption of N from mineral sources by plants in the short term (Ladd and Amato, 1986) and it may suggest the permanence of N derived mainly from the roots in soil organic matter.

The smaller availability of root-N would increase in the value of atoms ¹⁵N excess (% ¹⁵N a.e.) in plants grown on legume roots. The consequent lack of N contributions from the roots to cabbage-N can be associated to the strong immobilizing effects of root biomass on the N available in soil, including ¹⁵N-urea. Nitrogen mineralization is highly influenced by the C:N ratio (Cabrera et al., 2005). The immobilization phenomenon can be linked by the high C:N ratio in sunnhemp root biomass (42.70), as it has low N

concentration when compared to jack-bean (16.53). The mineralization and immobilization potential of N from legumes was evaluated by Matos et al. (2008) during seven weeks. The authors report a higher mineralization in the first week, followed by negative mineralization, especially until the third or fifth week due to the predominance of the immobilization process, after it the mineral N concentration indicated positive mineralization. This finding suggests that, under field conditions and for the duration of the study, root biomass caused a N immobilizing effect in the soil. In treatments consisting of roots of both legume species, there was a significant removal of soil nutrients when shoots were removed, thereby reducing the soil's ability to nourish the cabbage grown.

There are still unanswered questions related to the interaction of mineralized legume biomass N and its destination in the soil, compartmentalization/immobilization, remineralization and availability processes. As described by Wichern et al. (2008), rhizodeposition is a release process of organic and inorganic compounds derived from living roots. It is possible that, in the present study, low N contributions from legume roots were observed because the legume roots were dead and the next crop grown just as the roots started to decompose.

The greater net N mineralization from legume shoots than root fractions has also been reported for other legume species. The lower legume root N availability compared with the shoots can be attributed to the resistance of certain organic N compounds to decomposition and to potentially higher immobilization of green manure N owing to associated additions of carbon (Wivstad, 1999).

Results show the low fertilizing value of legume roots. N immobilization by legume roots may have been the major factor behind the observed low contributions to cabbage plants grown, when compared with the problem of nutrient exportation by removing the shoot. This removal of the shoot must have depleted the soil in N and other nutrients. These possibilities are strengthened by the lack of significant differences in the A-values (A_v) of the whole plant and shoot parts in this study.

In this particular study to assess the local effect of the roots of legumes, cabbage plants were planted in the same environment without the presence of the shoot. Other techniques would require root production in another location and the incorporation in the experimental area.

These experiments suggest that the lower legume-N content on cabbage grown on root biomass were strongly influenced by the legume root material emphasize the importance of legume root characteristics and by the competition with the microbial

biomass. This fact must be taken into account in studies of ^{15}N mineralization from legume root fraction. There is a need for further long term research focusing on studies assessing the nutrients from root with the aim of achieving optimal synchronization between net N release and N uptake of succeeding crops.

In addition, future studies could be conducted with the labeling of legumes with ^{15}N in order to study the contribution of roots in the presence of shoots using the technique cross-wise labeling, i.e. labeled roots with unlabelled shoots in one treatment and vice versa, which labeled material (legumes) would have to be enriched in an adjacent area and bring into the environment of study.

Conclusions

The results show that in pot conditions, when there is a limitation for root growth, there is a greater uptake of legume-N to the succeeding cabbage crop. In this situation the greater fertilizer value of the legume was obtained when cabbage was grown over the whole plant biomass rather than only on the shoot or root legumes' masses.

On the other hand, under field conditions, the legume shoots or whole plants resulted in higher values of legumes-N on cabbage crops and higher fertilizer values. In addition, legume roots resulted zero content of legume-N on cabbage, suggesting both low N supply by roots and N immobilization in soil organic matter or microbial biomass. This root-N could be mineralized in the future and become available to other crops. Further research should focus on root biomass composition and on the residual effect of green manure legume parts.

References

- Azam, F.; Malik, K.A.; Sajjad, M.I. 1985. Transformations in soil and availability to plants of ^{15}N Applied as inorganic fertilizer and legume residues. *Plant and Soil* 86: 3-13.
- Boddey, R.M.; Urquiaga, S. 1992. Calculations and assumptions involved in the use of the A-value and ^{15}N isotope dilution techniques for the estimation of the contribution of plant-associated biological N_2 fixation. *Plant and Soil* 145: 151-155.
- Boddey, R.M.; Peoples, M.B.; Palmer, B.; Dart, P. 2000. Use of the ^{15}N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 57: 235-270.

- Boddey, R.M.; Polidoro, J.C.; Resende, A.S.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S. 2001. Use of delta ^{15}N technique to estimation of biological nitrogen fixation in grasses and cereals. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 889-895.
- Cabrera, M.L.; Kissel, D.E.; Vigil, M.F. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: Research opportunities. *Journal of Environmental Quality* 34: 75-79.
- Chalk, P. 1996. Estimation of N_2 fixation by ^{15}N isotope dilution- The A-value approach. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1123-1130.
- Choi, B.; Ohe, M.; Harada, J.; Daimon, H. 2008. Role of belowground parts of green manure legumes, *Crotalaria spectabilis* and *Sesbania rostrata*, in N uptake by the succeeding tendergreen mustard plant. *Plant Production Science* 11: 116-123.
- Collins, H.P.; Delgado, J.A.; Alva, A.K.; Follett, R.F. 2007. Use of nitrogen-15 isotopic techniques to estimate nitrogen cycling from a mustard cover crop to potatoes. *Agronomy Journal* 99: 27-35.
- Diniz, E.R.; Santos, R.H.S.; Urquiaga, S.S.; Peternelli, L.A.; Barrella, T.P.; Freitas, G.B. 2007. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 199-206.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 1998. World Reference Base for Soil Resources. Rome, Italy. (World Soil Resources Reports, 84).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2001. Global estimates of gaseous emissions of NH_3 , NO and N_2O from agricultural land. Rome, Italy.
- Fried, M.; Dean, L.A. 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Science* 73: 263-271.
- Fundação Arthur Bernardes [Funarbe]. 2007. Sistema para Análises Estatísticas (SAEG), Version 9.1: UFV – Viçosa, Brazil.
- Harris, G.H.; Hesterman, O.B. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal* 82: 129-134.
- Harris, G.H.; Hesterman, O.B.; Paul, E.A.; Peters, S.E.; Janke, R.R. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. *Agronomy Journal* 86: 910-915.
- Janzen, H.H.; McGinn, S.M. 1991. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 291-297.
- Jensen, E.S. 1996. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 65-71.

- Khan, D.F.; Peoples, M.B.; Chalk, P.M.; Herridge, D.F. 2002a. Quantifying below-ground nitrogen of legumes, 2: A comparison of N-15 and non isotopic methods. *Plant and Soil* 239: 277-289.
- Khan, D.F.; Peoples, M.B.; Herridge, D.F. 2002b. Quantifying belowground nitrogen of legumes, 1: Optimising procedures for N-15 shoot-labelling. *Plant and Soil* 245:327-334.
- Ladd, J.N.; Amato, M. 1986. The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 18: 417-425.
- Mayer, J; Buegger, F.; Jensen, E.S.; Schloter, M.; Hess, J. 2003. Estimating N rhizodeposition of grain legumes using a 15N in situ stem labelling method. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 21-28.
- Matos, E.S; Mendonça, E.S.; Lima, P.C.; Coelho, M.S.; Mateus, R.F.; Cardoso, I.M. 2008. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2027-2035.
- McNeill, A.M.; Zhu, C.Y.; Fillery, I.R.P. 1997. Use of in situ N-15- labeling to estimate the total below-ground nitrogen of pasture legumes in intact soil-plant systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 295-304.
- Okito, A.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. 2004. Isotopic fractionation during N₂ fixation by four tropical legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1179-1190.
- Russell, C.A.; Fillery, I.R.P. 1996a. Estimates of lupin below-ground biomass nitrogen, dry matter, and nitrogen turnover to wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 47: 1047-1059.
- Russell, C.A.; Fillery, I.R.P. 1996b. In situ 15N labelling of lupin belowground biomass. *Australian Journal of Agricultural Research* 47: 1035-1046.
- Sawatsky, N.; Soper, R.J. 1991. A quantitative measurement of the nitrogen loss from the root system of field peas (*Pisum arvense* L.) grown in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 255-259.
- Schellenberg, D.L.; Morse, R.D.; Welbaum, G.E. 2009. Organic broccoli production on transition soils: Comparing cover crops, tillage and sidedress N. *Renewable Agriculture and Food Systems* 24: 85-91.

- Scivittaro, W.B.; Muraoka, T.; Boaretto, A.E.; Trivelin, P.C.O. 2003. Transformations of nitrogen from velvet bean and urea used as fertilizers in corn crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 1427-1433 (in Portuguese, with abstract in English).
- Shearer, G.; Kohl, D.H. 1986. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 699-756.
- Vargas, T.O.; Diniz, E.R.; Santos, R.H.S.; Lima, C.T.A.; Urquiaga, S.; Cecon, P.R. 2011. Influence of the biomass of legumes on cabbage yield held in two consecutive crops. *Horticultura Brasileira* 29: 562-568 (in Portuguese, with abstract in English).
- Vargas, T.O.; Diniz, E.R.; Santos, R.H.S.; Almeida, A.R.; Urquiaga, S.; Cecon, P.R. 2012. Production of cabbage grown in pots containing legumes' root and shoot. *Revista Ceres* 59: 689-694.
- Wichern, F.; Mayer, J.; Joergensen, R.G.; Müller, T. 2007a. Rhizodeposition of C and N in peas and oats after ¹³C–¹⁵N double labelling under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2527-2537.
- Wichern, F.; Mayer, J.; Joergensen, R.G.; Müller, T. 2007b. Release of C and N from roots of peas and oats and their availability to soil microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2829-2839.
- Wichern, F.; Eberhardt, E.; Mayer, J.; Joergensen, R.G.; Müller, T. 2008. Nitrogen rhizodeposition in agricultural crops: Methods, estimates and future prospects. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 30-48.
- Wivstad, M. 1999. Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labeled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. *Plant and Soil* 208: 21-31.

Table 1 - ^{15}N abundance of legumes and reference species ($\delta^{15}\text{N}$) and percentage of biological nitrogen fixation (BNF) in the legumes

Species	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) BNF (%)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰) BNF (%)	
	Pots ^a		Field ^b	
Sunnhemp ¹	-0.521	89.28	2.570	46.39
Jack beans ²	-0.987	94.97	1.861	55.81
Reference species ³	6.051	-	5.930	-

¹B = -1.31 (Information on this B value is available in Okito et al., 2004).

²B = -1.36 (Used the same B value for *Dolichos lablab*, available in Boddey et al., 2000).

³Non-N₂-fixing reference species (^a*Bidens pilosa*, *Ipomoea purpurea*, *Eleusine indica*; ^b*Amaranthus retroflexus*, *Ageratum conyzoides*, *Ipomoea purpurea*).

Table 2 - Average values of N content and legume-N on cabbage (N-leg), and the A-value (Av) of the legume parts, root (RO), shoot (SH) and whole plant (WP) used as green manure for cabbage grown in pots

Parts	N	N-leg	Av
	%		kg ha ⁻¹
WP	0.89 ^{ns}	45.06a	159.26a
SH	0.94	24.93b	63.25b
RO	0.89	17.87c	40.07c
CV (%)	8.29	15.13	20.94

Averages followed by different letters in the column differs by Tukey test ($p < 0.05$), ns = not significant, CV = coefficient of variation.

Table 3 - Average legume-N on field grown cabbage crop provided from the roots, shoots and whole plants of sunnhemp and jack bean

Legumes	Root*	Shoot	Whole plant
	Legume-N (%)		
Sunnhemp	0.00bA	24.35aA	24.46aA
Jack beans	0.00bA	13.53aA	18.53aA

Averages followed by different letter, lowercase by row and uppercase by column, differ by the Tukey test ($p < 0.05$). The coefficient of variation was 57.28%. *According to the formula, the roots would yield negative values of % legume-N (-13.59% for Sunnhemp and -3.51% for Jack beans), meaning net N immobilization and zero values of % legume-N.

Table 4 - Average values of N content on cabbage and A-value (Av) of the legume parts, root (RO), shoot (SH) and whole plant (WP) used as green manure on cabbage grown in field

Parts	N	Av
	%	kg ha ⁻¹
WP	3.45a	96.47a
SH	2.83ab	76.33a
RO*	2.56b	0.00b
CV (%)	18.28	56.96

Averages followed by different letters in the column differs by Tukey test ($p < 0.05$), CV = coefficient of variation. *According to the formula, the roots would yield negative fertilizer value (-18.62 kg ha⁻¹).

Table 5 - Average values of atoms % ¹⁵N excess (% ¹⁵N a.e.) in the cabbage crop, cultivated on different parts or green manure legume species

Parts	% ¹⁵ N a.e.	
	Pots	Field
Root	1.0548a	0.5441a
Shoot	0.9385b	0.3914b
Whole plant	0.6589c	0.3888b
Legumes		
Jack beans	0.9353a	0.4529 ^{ns}
Sunnhemp	0.8328b	0.4299
CV (%)	8.82	15.85

Averages followed by different letters in the column differ by the Tukey test ($p < 0.05$); ns = not significant, CV = coefficient of variation.

CAPÍTULO 2

Utilização do N do adubo verde crotalária no cultivo sequencial de brócolis, abobrinha e milho

Resumo

O estudo do efeito residual do N oriundo de adubos verdes pode contribuir com mais informações sobre a utilização dessa prática nos sistemas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de utilização do N no cultivo de brócolis, na sucessão abobrinha italiana-milho, oriundo de doses do adubo verde *Crotalaria juncea* marcada com ^{15}N . O estudo do efeito residual do N proveniente da adubação verde foi realizado em sucessão de culturas. A primeira cultura foi o brócolis, seguido da abobrinha italiana e, por último, o milho. Foram testados três doses de adubo verde: 3, 6 e 9 t ha⁻¹ mais 12 t ha⁻¹ de composto orgânico. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições. A eficiência de uso do N da crotalária nas culturas baseou-se na diluição isotópica do ^{15}N . O % do N no brócolis, abobrinha e milho proveniente do adubo verde obtidos na maior dose do adubo verde aplicado foram de 74,39; 47,42 e 19%, respectivamente. A quantidade de N no brócolis, abobrinha e milho proveniente do adubo verde, aumentaram com o incremento das doses do adubo verde aplicado, alcançando valores de 58,82; 31,95 e 9,98 kg ha⁻¹ na maior dose testada, respectivamente. A maior fração do N residual da crotalária foi aproveitada obedecendo a sequência de culturas brócolis, abobrinha e milho, sendo o aproveitamento, em média, do N proveniente do adubo verde de 28,50% para o brócolis, 16,22% para a abobrinha e 5,58% para o milho. Totalizando um aproveitamento de 50,3% do N proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*.

Palavras-chave: *Crotalaria juncea*, leguminosa, efeito residual, nitrogênio, diluição isotópica de ^{15}N

Introdução

As leguminosas, quando utilizadas como adubos verdes, além de adicionar nitrogênio (N) via fixação biológica de nitrogênio (FBN), atuam na ciclagem do N e de outros nutrientes concentrando-os nas camadas mais superficiais do solo (Silva et al., 2002). Contudo, a utilização do N derivado da FBN em adubos verdes é baixa. O percentual de N absorvido pelas culturas varia de 12,45 a 22,9% do total derivado da FBN (Castro et al., 2004; Silva et al., 2006a; Diniz et al., 2007), e cerca de 20% do total do N aplicado como adubos verdes (Scivittaro et al., 2000), enquanto que a eficiência da

adubação mineral nitrogenada solúvel varia entre 26 e 61% (Figueiredo et al., 2005; Alves et al., 2006; Lange et al., 2008). Portanto, a eficiência da adubação verde em fornecer o N é menor do que a eficiência da adubação mineral nitrogenada solúvel.

A maior eficiência da adubação com fertilizantes minerais solúveis possivelmente se deve à alta concentração de N na sua formulação e por estarem em formas nitrogenadas solúveis e disponíveis às plantas na solução do solo (Glendining et al., 2001). Entretanto, independente da fonte, o principal destino do N não absorvido pelas plantas é o solo (Harris e Hesterman, 1990; Scivittaro et al., 2000). O N não absorvido pelas plantas pode ser perdido ou ficar indisponível temporariamente às culturas. Essa perda do N pode ocorrer pelos processos de lixiviação, volatilização ou desnitrificação (Lara Cabezas et al., 2004) e a sua indisponibilidade pode acontecer devido à imobilização temporária dos nutrientes ou à incorporação em formas orgânicas na matéria orgânica do solo (Amado et al., 2002).

Na literatura há estudos com adubos verdes e utilização conjunta com fontes suplementares de nutrientes tais como o esterco bovino, cama de aviário ou composto orgânico (Oliveira et al., 2003; Oliveira et al., 2005; Diniz et al., 2007). Em tais trabalhos as quantidades totais de N adicionadas por todas as fontes foram superiores às recomendadas para as culturas.

O potencial de mineralização e imobilização do N de leguminosas no solo, avaliado durante sete semanas por Matos et al. (2008), resultou em maior mineralização na primeira semana, seguida de mineralização negativa devido a imobilização do N que predominou especialmente até a terceira ou quinta semana. Após o período de imobilização, o N voltou à mineralização positiva, ficando potencialmente disponível às culturas. No período de imobilização do N é indispensável uma fonte nitrogenada complementar para suprir às culturas. Tais resultados sugerem o significativo efeito residual dos adubos verdes, os quais poderiam ser evidenciados em cultivos sequenciais na mesma área.

Entretanto, este não tem sido considerado na maioria dos estudos com adubos verdes. Em culturas de ciclo curto como as olerícolas, apenas uma parte do N derivado da adubação verde pode ser considerada, a curto prazo, no suprimento nitrogenado da cultura. A outra parte, não aproveitada no primeiro ciclo de cultivo, pode ser aproveitada em cultivos subsequentes. Portanto é importante quantificar e monitorar o efeito residual da adubação verde visando aumentar o benefício agrônômico da sua utilização nos sistemas de cultivos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de utilização do N oriundo de doses do adubo verde *Crotalaria juncea*, marcada com ^{15}N , no cultivo de brócolis e na sucessão abobrinha italiana-milho.

Material e Métodos

Produção e enriquecimento do adubo verde

O adubo verde *Crotalaria juncea* foi cultivado em caixas de fibra de vidro em ambiente coberto, instalado no dia 01/09/2009. As caixas tinham capacidade para 500 litros e área superior, ao nível do substrato, de $0,74\text{ m}^2$, sendo cada caixa preenchida com 260 litros de substrato. O substrato foi feito utilizando uma mistura de areia lavada:vermiculita na proporção 1:1. A areia lavada foi considerada inerte. A análise química na vermiculita foi: pH (H_2O)= 5,46; P= $39,6\text{ mg dm}^{-3}$; K= 128 mg dm^{-3} ; Ca^{2+} = $0,54\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} = $4,82\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; Al^{3+} = $0,89\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; Mn= $10,3\text{ mg dm}^{-3}$; H+Al= $3,3\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; SB= $5,59\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; t= $6,58\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; T= $8,99\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$; V= 63,3%; m= 13,5%; P-rem= $55,7\text{ mg L}^{-1}$. A adubação do substrato foi realizada com 300 mg dm^{-3} de fósforo (P) na forma de super simples, 100 kg ha^{-1} de potássio (K) na forma de sulfato de potássio e 450 kg ha^{-1} de N com 2% de átomos de ^{15}N em excesso ($^{15}\text{Na.e.}$) na forma de uréia. O N e o K foram parcelados em 8 parcelas iguais. A primeira aplicação foi dividida em duas, uma aplicação aos 5 e aos 12 dias e, posteriormente, as demais parcelas aplicadas aos 18, 21, 28, 36, 45 e 60 dias.

Os teores de cálcio e magnésio foram corrigidos considerando 50% do teor de Ca e Mg da vermiculita no substrato após a mistura, obedecendo uma relação 3:1. Foram adicionados $6,96\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} equivalente a $1,4\text{ g de Ca}^{2+}\text{ dm}^{-3}$ de substrato na forma de super simples e farinha de osso. Não foi adicionado fonte de Mg^{2+} .

Os micronutrientes foram parcelados em duas aplicações, metade aos 5 dias e o restante aos 21 dias após o plantio, conforme solução de Hoagland e Arnon (1950), utilizando 0,5 ml desta solução por kg de substrato.

Antes do plantio da leguminosa foi feita a desinfecção superficial das sementes conforme ISTA (1976), utilizando hipoclorito de sódio 1%, por 5 minutos, e álcool 70%, por 1 minuto, para prevenir o possível contato das sementes com bactérias fixadoras de N_2 . A leguminosa foi semeada de forma a obter a densidade de 40 plantas caixa $^{-1}$. A irrigação foi feita diariamente de acordo com a necessidade da cultura, havendo o recolhimento da água percolada e devolução na caixa.

A colheita foi realizada aos 75 dias após o plantio. As plantas foram removidas do substrato e separadas as raízes e a parte aérea. Em seguida o adubo verde foi picado em

pedaços de 30 cm e colocados em sacos de rafia e guardados em galpão fechado, até a instalação do experimento. Amostras da parte aérea do adubo verde na mesma relação talo:folha produzidos nas caixas foram retiradas e secas em estufa a 70° C por 48 horas em estufa de circulação forçada de ar até massa constante. Na análise, a crotalária apresentou teor de 2,02% de N total pelo método de Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995), e enriquecimento isotópico de 1,4% de átomos de ¹⁵N em excesso (% ¹⁵N a.e.). A produção da massa da matéria seca da parte aérea da leguminosa foi de 26,15 g planta⁻¹.

Localização e descrição do experimento

O trabalho foi conduzido no campo, na área da Agroecologia situado no Vale da Agronomia, em área pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG. O estudo do efeito residual do nitrogênio proveniente da adubação verde foi realizado num sistema de sucessão de culturas organizado em três cultivos. O primeiro cultivo foi o de brócolis, o segundo e o terceiro cultivos constaram das culturas abobrinha italiana e milho, respectivamente. A análise química do solo (0-20 cm) da área experimental no início do experimento foi: 24 g kg⁻¹ de matéria orgânica (Walkley-Black); pH em água (1:2.5) 6,5; 7 mg dm⁻³ P (Mehlich I); 96 mg dm⁻³ K (Mehlich I); 2,70 cmol_c dm⁻³ Ca; 0,40 cmol_c dm⁻³ Mg e 0,00 cmol_c dm⁻³ Al (KCl 1M).

Foram estabelecidos três tratamentos, correspondentes às doses de adubo verde de 3, 6 e 9 t ha⁻¹ em base de matéria seca, acrescentados de 12 t ha⁻¹ de composto orgânico em base de matéria seca, correspondente a 50% da dose recomendada, conforme Diniz et al. (2008). A parcela experimental constou de cinco linhas espaçadas de 0,8 m com 3 m de comprimento. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições.

O composto orgânico foi produzido no setor de Agroecologia e teve como material de origem capim elefante e cama de frango numa proporção 3:1 (v/v). Os materiais foram compostados em pilhas com revolvimento manual por 120 dias. O composto foi aplicado nos sulcos de plantio uma única vez antes do transplante do brócolis. A análise química do composto orgânico apresentou: 1,73% N; 0,83% P; 0,40% K; 2,12% Ca; 0,35% Mg; 0,63% S e C/N= 10,63. Os teores totais foram determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico) segundo Tedesco et al. (1995). O carbono total foi calculado a partir do teor de matéria orgânica total determinada pelo método da perda por ignição segundo Kiehl (1985).

A quantidade total de nitrogênio aplicado nos tratamentos foi de 56,7, 113,4 e 170,1 kg N ha⁻¹ nas doses de 3, 6 e 9 t ha⁻¹, respectivamente, somadas a 207,6 kg N ha⁻¹ referentes a dose de 12 t ha⁻¹ de composto orgânico.

Para a produção do brócolis, foi feito o transplântio de mudas do híbrido de cabeça única ‘Taurus’ logo após a aplicação do composto. A adubação verde foi aplicada em superfície no dia do transplântio do brócolis. As mudas foram transplântadas para o campo no dia 26/03/2010 utilizando espaçamento de 0,8 m entre sulcos e 0,5 m entre plantas. Após o cultivo de brócolis, não foi adicionado nenhuma fonte de nutrientes nas culturas subsequentes. O plantio para o campo da abobrinha italiana tipo Caserta foi realizado em 09/08/2010 com espaçamento de 0,8 m entre sulcos e 0,6 m entre plantas. O milho híbrido AG 1051 foi semeado dia 25/10/10 com 0,8 m entre sulcos e 5 sementes por metro. A germinação ocorreu dia 30/10/10. Após a colheita, os restos culturais foram deixados na área e picados com facão em suas respectivas parcelas.

Na ocasião da colheita das culturas, amostras do limbo foliar das plantas foram coletadas e colocadas para secagem em estufa a 70 °C por 48 horas em estufa de circulação forçada de ar. Após secagem as amostras foram moídas para determinar o teor de N pelo método Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995), e para as análises isotópicas em espectrômetro de massa (IRMS) no Laboratório de Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia, conforme metodologia descrita em Barrie e Prosser (1996). A determinação da eficiência de utilização do N da crotalária baseou-se no princípio da diluição isotópica, utilizando-se a sequência de cálculos, conforme Silva et al. (2006b), apresentadas a seguir.

a) Nitrogênio total acumulado na parte aérea (NA)

$$NA = (N \times MS) / 1000$$

Onde,

NA = Nitrogênio acumulado (kg ha⁻¹); N = Concentração de nitrogênio (g kg⁻¹); MS = Matéria seca das culturas brócolis-abobrinha-milho (kg ha⁻¹).

b) Percentagem de nitrogênio nas culturas (brócolis-abobrinha-milho) proveniente do adubo verde (%N_{xPAV})

$\%N_{xPAV} = (\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso nas culturas} / \% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no adubo verde}) \times 100$

c) Quantidade de nitrogênio nas culturas (brócolis-abobrinha-milho) proveniente do adubo verde (QN_xPAV, kg ha⁻¹).

$$QNPAV = (\%NPAV \times NA) / 100$$

d) Aproveitamento (%AP) do nitrogênio do adubo verde.

$$\%AP = (QNPAV / QNA) \times 100$$

Onde,

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado como adubo verde marcado (kg ha⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, e à análise de regressão. As análises foram realizadas no Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG versão 9.1 (Funarbe, 2007).

Resultados

1º cultivo: Brócolis

O brócolis não apresentou diferenças significativas nos teores de N e do aproveitamento (AP) do N do adubo verde com as doses do adubo verde aplicado, apresentando valores médios de 17,62 g kg⁻¹ de N e 28,50% de AP. Quanto à % átomos de ¹⁵N em excesso (¹⁵N a.e.), o N no brócolis proveniente do adubo verde (NBPAV), a produtividade de matéria seca (MS), o N acumulado (NA) e a quantidade de N no brócolis proveniente do adubo verde (QNBPAV) apresentaram um comportamento de forma quadrática às doses aplicadas do adubo verde (Figura 1).

No cultivo de brócolis, os máximos valores estimados da % de átomos de ¹⁵N em excesso (1,0628%) e o % do N no brócolis proveniente do adubo verde (74,56%) foram alcançados com 8,77 e 8,65 t ha⁻¹ do adubo verde *Crotalaria juncea*, respectivamente.

Verifica-se, nas figuras 1c, 1d e 1e, que a produtividade de matéria seca, o N acumulado e a quantidade de N no brócolis proveniente do adubo verde, aumentaram com o incremento das doses do adubo verde aplicado, alcançando valores de 3801,97; 78,25 e 58,82 kg ha⁻¹ na maior dose testada, respectivamente.

1ª sucessão: Abobrinha

Plantas de abobrinha cultivadas sequencialmente ao primeiro cultivo de brócolis não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de N e do aproveitamento do N do adubo verde em função das doses de crotalária, apresentando valores médios de 21,82 g kg⁻¹ de N e 16,22% de AP. Quanto à % átomos de ¹⁵N em excesso (¹⁵N a.e.), o

N na abobrinha proveniente do adubo verde (NAPAV), produtividade de matéria seca (MS), N acumulado (NA) e da quantidade de N na abobrinha proveniente do adubo verde (QNAPAV) apresentaram um comportamento de forma quadrática às doses aplicadas do adubo verde (Figura 2).

Na primeira sucessão de culturas, os máximos valores estimados da % de átomos de ^{15}N em excesso e o % do N na abobrinha proveniente do adubo verde obtidos na maior dose do adubo verde aplicado foram 0,676 e 47,42%, respectivamente.

Verifica-se, nas figuras 2c, 2d e 2e, que a produtividade de matéria seca, o N acumulado e a quantidade de N na abobrinha proveniente do adubo verde, aumentaram com o incremento das doses do adubo verde, alcançando valores de 3021,52; 70,42 e 31,95 kg ha⁻¹ na maior dose testada, respectivamente.

2ª sucessão: Milho

O efeito a longo prazo dos tratamentos com doses do adubo verde *Crotalaria juncea* não proporcionaram ganhos significativos no teor de N (10,41 g kg⁻¹), na produtividade de matéria seca (4935,2 kg ha⁻¹), no N acumulado (51,31 kg ha⁻¹) e no aproveitamento do N (5,58%) do adubo verde nas plantas de milho. No entanto, a % de átomos de ^{15}N em excesso e no N no milho proveniente do adubo verde apresentaram um comportamento de forma quadrática (Figuras 3a e 3b).

Os máximos valores estimados da % de átomos de ^{15}N em excesso e o % N no milho proveniente do adubo verde obtidos na maior dose do adubo verde aplicado foram 0,302 e 19%, respectivamente.

A quantidade do N no milho proveniente do adubo verde aumentou de forma linear com as doses do adubo verde *Crotalaria juncea* aplicado, variando de 2,94 a 9,98 kg ha⁻¹ (Figura 3c).

Discussão

Do total de N aplicado com as doses de adubo verde conjuntamente ao composto orgânico foram adicionados, nas doses de 3, 6 e 9 t ha⁻¹, as quantidades de 264,3, 321 e 377,7 kg de N ha⁻¹, respectivamente. No cultivo do brócolis em sucessão à crotalária, o brócolis obteve um incremento máximo nas percentagens de ^{15}N a.e. e NBPAV abaixo da maior dose aplicada, enquanto que para as demais variáveis (MS, NA e QNBPAV) observou-se incremento com as doses aplicadas. O mesmo comportamento foi obtido nas plantas de abobrinha cultivadas em sucessão ao cultivo do brócolis.

Este incremento do enriquecimento de átomos de ^{15}N em excesso, e consequente aumento da percentagem do N nas culturas provenientes do adubo verde, foi verificado com a aplicação das doses de crotalária em virtude do maior influxo de ^{15}N na solução do solo proveniente da massa enriquecida em ^{15}N do adubo verde aplicado (1,4% átomos de ^{15}N em excesso).

Apesar da maior dose do adubo verde ter adicionado mais N ao solo, não necessariamente levou à maior concentração de N para as plantas de brócolis, abobrinha e milho. No entanto, alguns estudos com adubos verdes, marcados com ^{15}N , indicam que a maior proporção do N da massa dessas plantas tem como destino o solo (Harris e Hesterman, 1990; Scivittaro et al., 2000; Chen et al., 2010). Assim, o cultivo de adubos verdes pode favorecer outras culturas em rotação ou sucessão, graças ao efeito residual (Scivittaro et al., 2000) e, também, com o tempo, incrementar o teor de matéria orgânica do solo (MOS), o qual está diretamente relacionado com a adição de N ao solo, seja pela fixação biológica, seja por meio da adição de fertilizantes minerais ou orgânicos (Amado et al., 2002; Silva et al., 2006a).

O presente estudo demonstra que, considerando uma mesma espécie de adubo verde, o padrão de decomposição pode ser modificado quando se utilizada diferentes quantidades de massa e essa mudança influencia a mineralização do N, principalmente no início do processo de decomposição (Informação pessoal, artigo de decomposição em tramitação).

No entanto, o efeito de doses do adubo verde na produtividade da matéria seca e no N acumulado não foi verificado no cultivo do milho. Na literatura, há relatos do aproveitamento do N do adubo verde no milho cultivado em sucessão à crotalária, variando de 12 a 22% (Scivittaro et al., 2003; Silva et al., 2006b; Silva et al., 2008). No presente estudo foi verificado o aproveitamento do N do adubo verde pelas culturas em sucessão à crotalária, sendo os valores de 28,50% no brócolis, 16,22% na abobrinha e 5,58% no milho. Segundo Silva et al. (2008), a eficiência dos adubos verdes comparada à dos fertilizantes minerais, como fonte de N para as culturas, ainda é baixa, essa raramente ultrapassa 20% no primeiro cultivo após a aplicação (Harris et al., 1994; Scivittaro et al., 2000; Silva et al., 2006a).

Em estudos realizados com adubo e resíduos vegetais marcados com ^{15}N em sistemas de rotações de arroz-trigo por 6 cultivos sequenciais (3 anos agrícolas), Chen et al. (2010) constataram que aproximadamente 15% do ^{15}N proveniente dos resíduos vegetais foram recuperados pelas culturas, enquanto 85% permaneceu no solo.

No presente estudo aproximadamente 50% do N do adubo verde crotalária não foram absorvidos pelas culturas. Considerando as possíveis perdas do N, pela não incorporação dos resíduos do adubo verde aplicado (Lara Cabezas et al., 2004), a eficiência da adubação verde poderia ter sido ainda maior. Outro fato comum, e que pode ter ocorrido, é da parte do N mineralizado ter interagido com o N do solo, passando para formas orgânicas (Silva et al., 2008; Chen et al., 2010).

Diferentemente dos resíduos orgânicos, a eficiência de recuperação do N dos fertilizantes minerais nas culturas subsequentes é muito variável. Foi estimado que apenas 30-50% do N fertilizante é absorvido pelas culturas no primeiro cultivo (Tillman et al., 2002; Ladha et al., 2005). O N não aproveitado pelas culturas poderá ocasionar danos ao meio ambiente (Tian et al., 2007) através das perdas ou ser incorporado à MOS. Estudos demonstram que o N aplicado em formas orgânicas provoca menores perdas de N em curto prazo comparadas de fontes inorgânicas. A principal razão pode ser atribuída aos efeitos da degradação dos produtos, incluindo as moléculas de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Chen et al., 2010), abundantes nos resíduos vegetais. O N proveniente de fontes inorgânicas é disponível imediatamente para a absorção pelas culturas, logo a sincronização da mineralização do N dos adubos verdes com a época de maior demanda da planta pode ser um importante fator na diminuição dos processos de perda (Glendining et al., 2001).

Em contrapartida, é possível afirmar que a maior contribuição do N nas culturas subsequentes são muitas das vezes mediada pela mineralização do N presente na MOS, expressando rendimentos notórios aos agroecossistemas. A matéria orgânica do solo tem sido reconhecida como um dos componentes mais importantes na manutenção da fertilidade e qualidade do solo. Portanto, estudos do efeito residual do N proveniente de adubos verdes demonstram um efeito ao longo prazo.

Conclusões

A maior percentagem do N proveniente do adubo verde foi verificado no primeiro cultivo do brócolis, seguido da abobrinha e milho, aumentando de forma quadrática em relação às doses aplicadas de crotalária. A quantidade de N proveniente do adubo verde aumentou de forma quadrática para os cultivos de brócolis e abobrinha e linear para o cultivo do milho em função das doses aplicadas de crotalária. A maior fração do N residual da crotalária foi aproveitada obedecendo a sequência de culturas brócolis, abobrinha e milho, sendo o aproveitamento, em média, do N proveniente do adubo

verde de 28,50% para o brócolis, 16,22% para a abobrinha e 5,58% para o milho. Totalizando um aproveitamento de 50,3% do N proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*.

Referências

- Alves, B.J.R.; Lincoln, Z.; Fernandes, F.M.; Heckler, J.C.; Macedo, R.A.T.; Boddey, R. M.; Jantalia, C.P.; Urquiaga, S. 2006. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41: 449-456.
- Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Aita, C. 2002. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26: 241-248.
- Barrie, A.; Prosser, S.J. 1996. Automated analysis of lightelement stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: Boutton, T.W.; Yamasaki, S. (Ed). Mass spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, p.1-46.
- Castro, M.C.D.; Alves, B.J.R.; Almeida, D.J.; Ribeiro, R.L.D. 2004. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39: 779-785.
- Chen, Y.; Wu, C.; Tang, X.; Yang, S.; Wang, J. 2010. Fate of nitrogen from organic and inorganic sources in rice-wheat rotation cropping system. Agricultural Sciences in China 9: 1017-1025.
- Diniz, E.R.; Santos, R.H.S.; Urquiaga, S.S.; Peternelli, L.A.; Barrella, T.P.; Freitas, G.B. 2007. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. Pesquisa Agropecuária Brasileira 42: 199-206.
- Diniz, E.R.; Santos, R.H.S.; Urquiaga, S.S.; Peternelli, L.A.; Barrella, T.P.; Freitas, G.B. 2008. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. Ciência e Agrotecnologia 32: 1428-1434.
- Figueiredo, C.C.; Resck, D.V.S.; Gomes, A.C.; Urquiaga, S. 2005. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira 40: 279-287.
- Fundação Arthur Bernardes [Funarbe]. 2007. Sistema para Análises Estatísticas (SAEG), Version 9.1: UFV – Viçosa, Brazil.
- Glendining, M.J.; Poulton, P.R.; Powlson, D.S.; Macdonald, A.J.; Jenkinson, D.S. 2001. Availability of the residual nitrogen from a single application of ¹⁵N-labelled

- fertilizer to subsequent crops in a long-term continuous barley experiment. *Plant and Soil* 233: 231-239.
- Harris, G.H.; Hesterman, O.B. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal* 82: 129-134.
- Harris, G.H.; Hesterman, O.B.; Paul, E.A.; Peters, S.E.; Janke, R.R. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. *Agronomy Journal* 86: 910-915.
- Hoagland, D.; Arnon, D.I. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *California Agriculture Experimental Station Circular*, 347p.
- International Seed Testing Association [ISTA]. 1976. Seed health testing. *Seed Science and Technology*, Zurich 4: 3-49.
- Kiehl, J.B. 1985. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo. Ed. Agron. Ceres. 492p.
- Ladha, J. K.; Pathak, H.; Krupnik, T. J.; Six, J.; van Kessel, C. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.
- Lange, A.; Lara Cabezas, W.A.R.; Trivelin, P.C.O. 2008. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43: 123-130.
- Lara Cabezas, W.R.L.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Santana, D.G. 2004. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ciência Rural* 34: 1005-1013.
- Matos, E.S.; Mendonça, E.S.; Lima, P.C.; Coelho, M.S.; Mateus, R.F.; Cardoso, I.M. 2008. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2027-2035.
- Oliveira, F.L.; Ribas, R.G.T.; Junqueira, R.M.; Padovan, M.P.; Guerra, J.G.M.; Almeida, D.L.; Ribeiro, R.L.D. 2003. Uso do pré-cultivo de *Crotalaria juncea* e de doses crescentes de “cama” de aviário na produção do repolho sob manejo orgânico. *Agronomia* 37: 60-66.
- Oliveira, F.L.; Ribas, R.G.T.; Junqueira, R.M.; Padovan, M.P.; Guerra, J.G.M.; Almeida, D.L.; Ribeiro, R.L.D. 2005. Desempenho do consórcio entre repolho e rabanete com pré-cultivo de crotalária, sob manejo orgânico. *Horticultura Brasileira* 23: 184-188.

- Scivittaro, W.B.; Muraoka, T.; Boaretto, A.E.; Trivelin, P.C.O. 2000. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24: 917-926.
- Scivittaro, W.B.; Muraoka, T.; Boaretto, A.E.; Trivelin, P.C.O. 2003. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 1427-1433.
- Silva, E.C.; Muraoka, T.; Buzetti, S.; Trivelin, P.C.O. 2006a. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 477-486.
- Silva, E.C.; Muraoka, T.; Buzetti, S.; Veloso, M.E.C.; Trivelin, P.C.O. 2006b. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural* 36: 739-746.
- Silva, E.C.; Muraoka, T.; Buzetti, S.; Espinal, F.S.C.; Trivelin, P.C.O. 2008. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2853-2861.
- Silva, J.A.A.; Vitti, G.C.; Stuchi, E.S.; Sempionato, O.R. 2002. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranjeira-'Pêra'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24: 225-230.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. *Boletim Técnico de Solos* 5: 174.
- Tian, Y.H.; Yin, B.; Yang, L.Z.; Yin, S.X.; Zhu, Z.L. 2007. Nitrogen runoff and leaching losses during rice-wheat rotations in Taihu Lake region, China. *Pedosphere* 17: 445-456.
- Tillman, D.; Cassman, K.G.; Matson, P.A.; Naylor, R.; Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.

1º cultivo: Brócolis

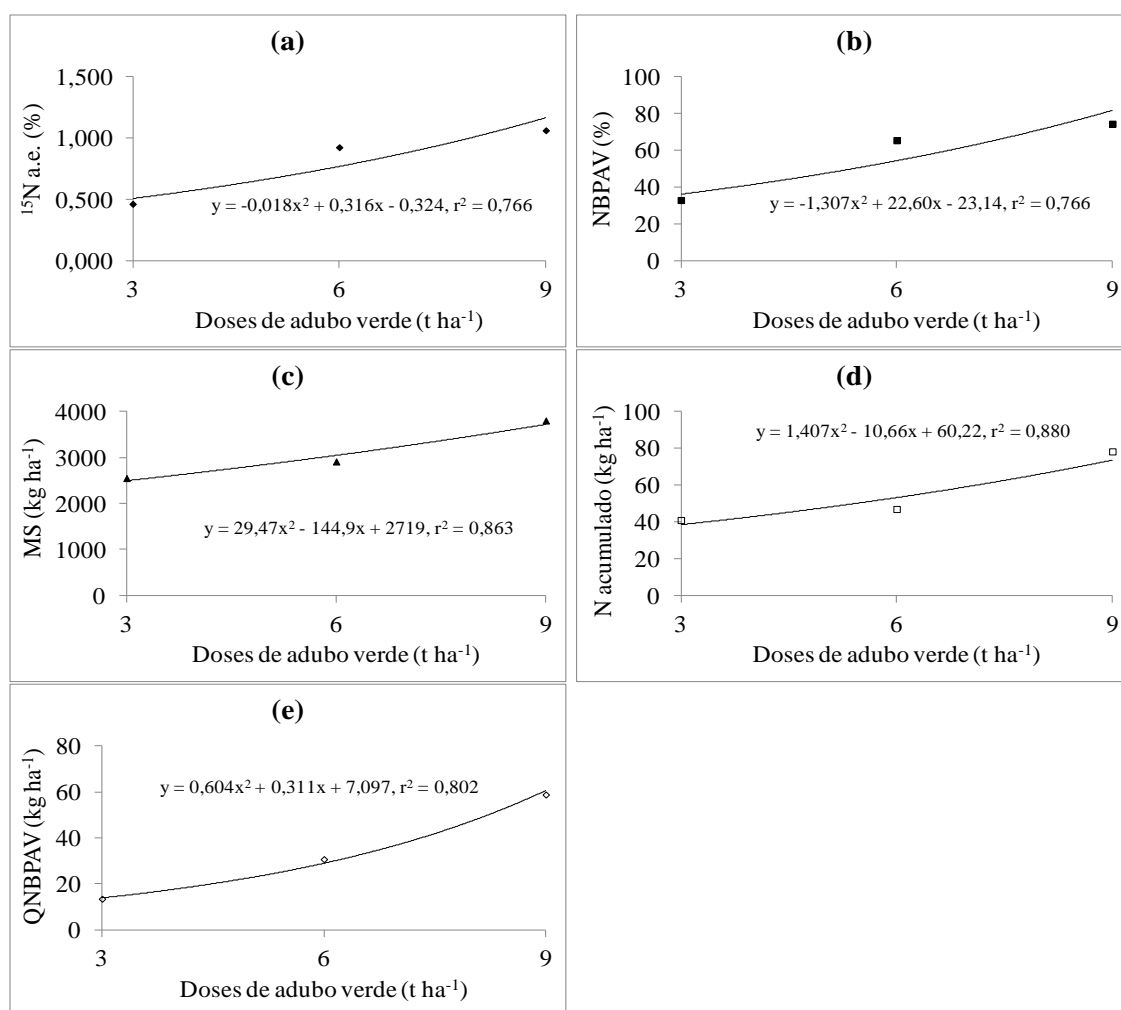


Figura 1 - (a) Percentagem de átomos de ¹⁵N em excesso (¹⁵N a.e.) e (b) do N no brócolis proveniente do adubo verde (NBPAV), (c) produtividade de matéria seca (MS), (d) N acumulado (NA) e (e) quantidade do N no brócolis proveniente do adubo verde (QNBPAV), em função de doses do adubo verde *Crotalaria juncea* no cultivo do brócolis.

1ª sucessão: Abobrinha

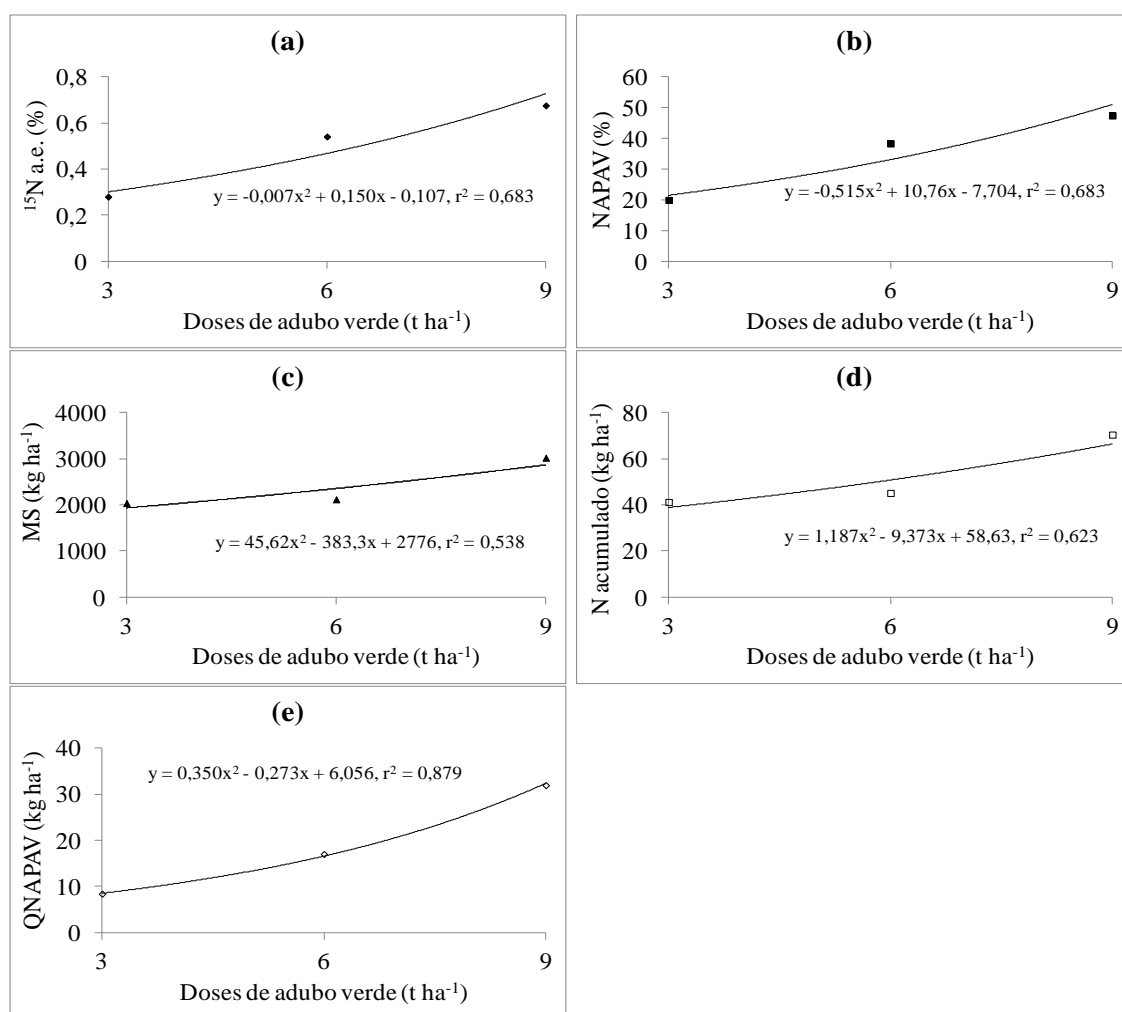


Figura 2 - (a) Percentagem de átomos de ¹⁵N em excesso (¹⁵N a.e.) e (b) do N na abobrinha proveniente do adubo verde (NAPAV), (c) produtividade de matéria seca (MS), (d) N acumulado (NA) e (e) quantidade do N na abobrinha proveniente do adubo verde (QNAPAV), em função de doses do adubo verde *Crotalaria juncea* no cultivo sequencial do brócolis-abobrinha.

2ª sucessão: Milho

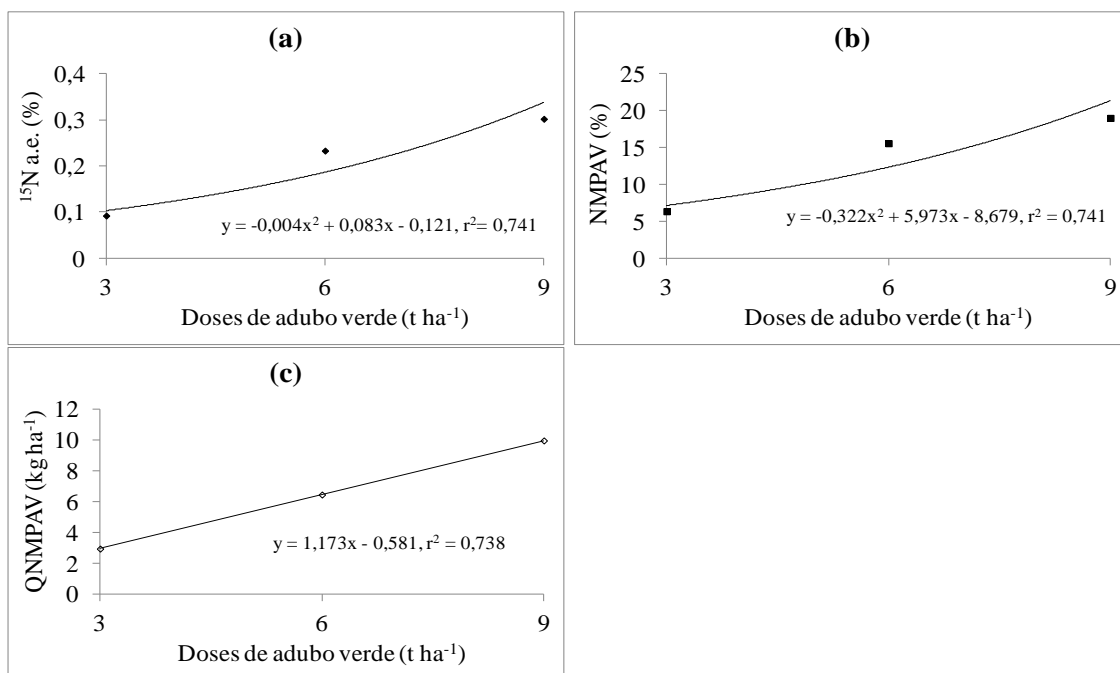


Figura 3 - (a) Percentagem de átomos de ¹⁵N em excesso (¹⁵N a.e.) e (b) do N no milho proveniente do adubo verde (NMPAV) e (c) quantidade do N no milho proveniente do adubo verde (QNMPAV), em função de doses do adubo verde *Crotalaria juncea* no cultivo sequencial do brócolis-abobrinha-milho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos experimentos 1 e 2, para verificar o efeito das raízes de adubos verdes, plantas de repolho foram plantadas no mesmo ambiente sem a presença da parte aérea. Outras técnicas requerem a produção de raízes em outro local e a incorporação do material em área adjacente.

No presente trabalho, os experimentos sugerem que o baixo conteúdo do N-Leguminosa no repolho conduzido sobre a massa de raízes foram fortemente influenciados pelas características do material e pela competição com a biomassa microbiana. Este fato tem de ser considerado em estudos de mineralização do N oriundo de raízes de leguminosa. Por essa razão, é necessário pesquisas que foquem no efeito a longo prazo em estudos que avaliem os nutrientes provenientes de raízes com o objetivo de alcançar a sincronização ótima entre a mineralização do N-raiz e sua absorção pela cultura subsequente.

Em adição, futuros estudos podem ser conduzidos com a marcação das leguminosas com ^{15}N , objetivando o estudo da contribuição de raízes com a presença da parte aérea utilizando a técnica cross-wise labeling, como exemplo, raízes marcadas com parte aérea não marcada em um tratamento e vice-versa, em que o material marcado (leguminosa) deverá ser enriquecido em área adjacente e conduzido para o ambiente em estudo.

No experimento 3, teve como pressuposto que raramente encontram-se na literatura estudos que abordam os efeitos de quantidades de nutrientes provenientes de adubos verdes sobre culturas em sucessão.

A disponibilização do N para as plantas é diferente quando se utiliza fertilizantes minerais solúveis e fertilizantes de fontes orgânicas. Os fertilizantes nitrogenados minerais solúveis possuem alta concentração com 100% do N prontamente disponível.

As fontes de fertilizantes orgânicos, como os adubos verdes e compostos orgânicos, além de possuírem constituição química diversas, apresentam grandes variações na concentração de nutrientes.

A adubação verde com leguminosas permite uma mineralização de N mais lenta comparada com os fertilizantes minerais solúveis. A mineralização do N do adubo verde é afetada por processos biológicos do solo, pelas condições edafoclimáticas, pela espécie e características químicas e bioquímicas do material.

Portanto, a recomendação da adubação verde nos sistemas de cultivos ainda apresenta pouco suporte científico e poucos estudos abordam os efeitos de quantidades de nutrientes provenientes de adubos verdes sobre a nutrição nitrogenada de culturas subsequentes. São necessários estudos que avaliem e esclareçam os processos envolvidos no sistema solo-planta no fornecimento de nutrientes por adubos verdes às culturas. Isto tem importantes implicações para a compreensão das potenciais contribuições das leguminosas no aporte de N aos sistemas agrícolas.