



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS: TECNOLOGIA INOVADORA
DE ADUBAÇÃO VERDE PARA PROVISÃO DE NITROGÊNIO EM
SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO**

MAXWELL MERÇON TEZOLIN BARROS ALMEIDA

Sob a Orientação do Professor
Helvécio De-Polli

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Agroecologia

Seropédica, RJ
Março de 2007

631.584 A447f T	Almeida, Maxwell Merçon Tezolin Barros 1978- Fertilizantes de leguminosas: tecnologia inovadora de adubação verde para provisão de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção / Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida. - 2007. 83 f. : il. Orientador: Helvécio De-Polli. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia. Bibliografia: f. 73-79. 1. Agricultura orgânica - Teses. 2. Fertilizantes orgânicos - Teses. 3. Fertilizantes nitrogenados - Teses. I. De-Polli, Helvécio, 1947- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.
-----------------------	---

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FITOTECNIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MAXWELL MERÇON TEZOLIN BARROS ALMEIDA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Agroecologia.

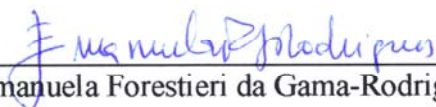
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/03/2007



Helvécio De-Polli. Ph.D. Embrapa Agrobiologia
Orientador



Raul de Lucena Duarte Ribeiro. Ph.D. UFRRJ



Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Dr. UENF

DEDICATÓRIA

Se ansiamos por um mundo mais justo e solidário, precisamos de uma educação voltada para este fim; de uma sociedade ecologicamente instruída, com novos paradigmas de produção e consumo, e sobretudo, de uma agricultura responsável, que incorpore as dimensões e os desafios da sustentabilidade.

Este trabalho é dedicado à minha maravilhosa mãe, Olganir, ao meu fantástico pai, Othon, aos meus incríveis irmãos, Monica, William e Helen, à minha querida madrasta, Edna, à minha amável namorada, Alice, e a todos aqueles que acreditam e lutam por uma agricultura mais justa, responsável e solidária.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, simplesmente por tudo.

À Mokiti Okada, pela inspiração e insight.

Ao meu orientador, Helvécio De-Polli, por me apoiar e acreditar na idéia.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À FAPERJ e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

À Embrapa Agrobiologia, pelo apoio técnico e estrutural.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e aos seus Mestres, pelos ensinamentos.

Ao Colégio Técnico da Universidade Rural (CTUR), por me conceder uso de suas instalações e equipamentos, e aos seus funcionários, pela colaboração.

Aos amigos Edmilson Evangelista da Silva e Pedro Henrique Sabadin de Azevedo, pela amizade e trabalho em equipe.

Ao professor Raul de Lucena Duarte Ribeiro e ao pesquisador José Guilherme Marinho Guerra, pelo incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

Às professoras Margarida Goréte Ferreira do Carmo e Regina Celi Cavestré Coneglian, pelo empréstimo de equipamentos.

Aos funcionários de campo, transporte e laboratórios da Agrobiologia e Fazendinha (Ernani, Ivana, Selmo, Altiberto, Flávio, Monalisa, Roberto, Adriana, Claudinho, Serginho, Luizinho, Naldo, Manoel, Enivaldo, Paulo, Elias, Edilson, Oséias, Samuel, Nélio, Joãozinho, Moa, Helinho, Guaraci e Zé Maria), por direta ou indiretamente contribuírem com a obra.

Aos Vigilantes: Cleber, Leandro, Caporal, Robson, Alexandre, Manoel, Johnny e Wallace, pela companhia e “horas extras” durante o andamento da pesquisa.

Ao Marcinho do CTUR e ao veloz motorista da ambulância da Rural, pelo rápido deslocamento ao hospital, e ao Dr. Marcelo Tadashi Nishimura pela excelente reconstituição de dois dedos de minha mão, semi-amputados, durante processamento dos fertilizantes de leguminosas.

À Rojane Chapeta e ao Daniel Vidal Péres da Embrapa Solos, pelas refinadas análises químicas de tecido vegetal, realizadas no experimento de alface.

E especialmente, à minha querida namorada, Alice Teodorio Lixa, por estar sempre presente.

RESUMO GERAL

ALMEIDA, Maxwell Merçon Tezolin Barros. **Fertilizantes de leguminosas: tecnologia inovadora de adubação verde para provisão de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção.** 2007. 83p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

Um dos principais entraves à produção orgânica de alimentos é a reduzida disponibilidade de fontes de nitrogênio (N) eficientes e de baixo custo. Práticas de adubação verde, em rotação ou consórcio, têm sido utilizadas, mas dificilmente conseguem garantir as exigências das culturas. Esta dissertação apresenta uma tecnologia inovadora de adubação verde, derivada do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de determinadas plantas da família Leguminosae (com elevado potencial de fixação biológica de N₂, acúmulo de N e facilidade de manejo), com posterior armazenagem e uso do material produzido, denominado fertilizante de leguminosa. A tecnologia permite a estocagem do adubo verde, a sistematização da produção e seu uso em quantidades e épocas mais adequadas, favorecendo a sincronia/eficiência da provisão de N. Foram objetos deste estudo: o desenvolvimento e a avaliação de diferentes formas de produção de fertilizantes de leguminosas – três de espécies herbáceas: mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e arachis (*Arachis pintoi*), e dois de espécies arbóreas: gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) –; a caracterização física e química desses materiais, o potencial de uso como fontes alternativas de N para sistemas orgânicos de produção, a influência das adubações sobre a vida útil pós-colheita de alface (*Lactuca sativa* cv. Vera), sobre atributos químicos e biológicos do solo e sobre a germinação e estabelecimento de plântulas de rúcula (*Eruca sativa* cv. Cultivada). Três experimentos foram conduzidos: um em campo com a cultura da alface, e dois em vasos com rúcula. Em todos eles, as adubações com os fertilizantes de leguminosas foram comparadas com cama de aviário industrial, proveniente de galpão de frangos para abate, assegurando-se doses equivalentes de N-total. O fertilizante de gliricídia foi o que apresentou maior potencial físico e químico para biodisponibilização de N (relações C/N e lignina/N, baixas). Esse potencial foi corroborado por dois experimentos, nos quais a concentração e acúmulo de N na parte aérea de alface e rúcula foram significativamente superiores aos proporcionados pelas demais fontes orgânicas de N (fertilizante de mucuna cinza e cama de aviário). No entanto, no outro experimento de rúcula, a eficiência dos cinco fertilizantes de leguminosas e da cama de aviário foi semelhante. A incorporação e a diminuição das doses de N aplicadas aumentaram a eficiência da provisão de N para a rúcula. Efeitos antagônicos, só foram observados sobre a germinação e estabelecimento das plântulas de rúcula quando os fertilizantes de leguminosas foram incorporados ao solo, mas não quando aplicados em cobertura. A vida útil pós-colheita das alfaces não foi influenciada quanto à fonte orgânica de N utilizada. Os fertilizantes de leguminosas e a cama de aviário favoreceram ao acúmulo de C e N-total, e a atividade microbiana no solo com magnitudes semelhantes. Esta dissertação indica que os fertilizantes de leguminosas são fontes promissoras de N para os sistemas orgânicos de produção, capazes de substituir a cama de aviário industrial, em dosagem equivalente de N-total. Esse potencial assume relevância, tendo em vista que a cama de aviário, uma das fontes de orgânicas de N mais usadas e eficazes, sofre restrições quanto ao seu emprego em agricultura orgânica.

Palavras-chave: agricultura orgânica, fertilizantes orgânicos, fertilizantes nitrogenados.

GENERAL ABSTRACT

ALMEIDA, Maxwell Merçon Tezolin Barros. **Legume fertilizers: innovative technology of green manuring for nitrogen supply in organic farming systems.** 2007. 83p. Dissertation (Master Science in Phytotechnie). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

One of the main limitations to the organic food production is the reduced availability of low cost and efficient nitrogen (N) sources. Green manuring practices, in rotation or intercropped, have been used, but hardly are they able to supply crop needs. This dissertation presents an innovative technology of green manuring, derived of the cutting, dehydration and milling of the aerial biomass of some plants from Leguminosae family (with high potential of biological N₂ fixation, N accumulation and handling easiness), with posterior storage and use of the produced material, called legume fertilizer. The technology allows the green manure storage, the production systematization and its use in more appropriate amounts and times, favoring the synchronization/efficiency of N provision. The objects of this study were: the development and evaluation of different production forms of legume fertilizers – three herbaceous species: velvet bean (*Mucuna pruriens*), sunn hemp (*Crotalaria juncea*) and arachis (*Arachis pintoi*), and two species of tree: gliricidia (*Gliricidia sepium*) and leucaena (*Leucaena leucocephala*) –; the physical and chemical characterization of these materials, the utilization potential as alternative sources of N for organic farming systems, their influence on the shelf life of lettuce (*Lactuca sativa* cv. Vera), on chemical and biological soil attributes and on germination and establishment of arugula (*Eruca sativa* cv. Cultivada) seedlings. Three experiments have been conducted: one in field with lettuce, and two in green house with arugula. Legume fertilizers were compared at N basis with poultry bed manure from meat industry. The gliricidia fertilizer showed better physical and chemical attributes (lower C/N and lignin/N ratios) implying higher potential for biodisponibilization of N. This potential was corroborated for two experiments, in which the concentration and accumulation of N in the aerial part of lettuce and arugula was significantly superior to the other organic sources of N (velvet bean fertilizer and poultry bed manure). However, in the other experiment of arugula, the efficiency of five legume fertilizers and poultry bed manure were similar. The incorporation and the reduction of the applied doses of N had increased the efficiency of the provision of N for arugula. Antagonistic effect had been only observed on the germination and establishment of arugula seedlings when the legume fertilizers had been incorporated in the soil, but not when applied in surface. Lettuce shelf life was not affected by application of these organic sources of used N. The legume fertilizers and the poultry bed manure had favored the accumulation of C and total N, and the soil microbial activity with similar magnitudes. This dissertation indicates that legume fertilizers are promising sources of N for the organic farming systems, capable to replace the factory poultry bed manure at the same N level. This potential assumes relevance since poultry bed manure, one of the most used and efficient sources of organic of N, has some restrictions for its use in organic agriculture.

Key words: organic agriculture, organic fertilizers, nitrogenated fertilizers.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Influência do processamento da biomassa de crotalária sobre sua densidade..... 15

Figura 2. Densidade dos fertilizantes de leguminosas (com 0% de umidade a 65°C), triturados em moinho de facas (Wiley) equipado com peneira de malha de 1 mm de diâmetro..... 16

CAPÍTULO II

Figura 1. Valores médios de massa fresca (a), diâmetro médio (b), massa seca (c), número de folhas (d), teor de N na matéria seca (e) e acúmulo de N (f), na parte aérea de alface (cv. Vera), conduzida sob manejo orgânico, aos 37 dias após o transplantio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas.35

Figura 2. Correlações entre o teor de Mg na matéria seca da parte aérea da alface e os teores de $N-NO_3^-$ no solo, aos 39 dias após o transplantio (DAT), e de N na matéria seca da parte aérea, aos 37 DAT.37

Figura 3. Correlações entre o teor de Ca na matéria seca da parte aérea da alface e os teores de K na matéria seca da parte aérea, aos 37 dias após o transplantio (DAT), e no solo, aos 39 DAT.37

Figura 4. Percentual médio relativo de massa fresca (MF), diâmetro médio (DIAM) e número de folhas planta⁻¹ (NF) da parte aérea de alface (cv. Vera), conduzida sob manejo orgânico, e colhida aos 37 e 44 dias do transplantio.....38

Figura 5. Perda acumulada de massa fresca, em condições de bancada de laboratório, de alface (cv. Vera), conduzida sob manejo orgânico e colhida aos 44 dias do transplantio, em função dos tipos de adubo de cobertura utilizados.....39

Figura 6. Percentual médio relativo de massa fresca (MF), diâmetro médio (DIAM) e teor de sólidos solúveis (TSS), no 1º e 7º dia após a colheita de alface (cv. Vera), conduzida sob manejo orgânico e colhida aos 44 dias do transplantio.....40

Figura 7. Teores de P (a), K (b), Ca (c) e Mg (d) no solo (0-0,1m) aos 39 dias após o transplantio das mudas de alface. Barras sobre as colunas indicam o erro padrão da média..... 42

Figura 8. Teores de $N-NH_4^+$ (a), $N-NO_3^-$ (b), NBM (c), N-total (d) no solo (0-0,1 m), aos 39 dias após o transplantio das mudas de alface.44

Figura 9. Teores de CBM (a), CBM plus (b), C-lábil (c), C-total (d), RBS (e) e qCO_2 (f) no solo (0-0,1 m) aos 39 dias após o transplantio das mudas de alface.....46

CAPÍTULO III

Figura 1. Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do teor de nitrogênio na matéria seca.63

- Figura 2.** Superfície específica da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹ em função do teor de nitrogênio na matéria seca.....63
- Figura 3.** Nitrogênio acumulado na parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do tratamento controle e dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Tecnologias de adubação. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média.....64
- Figura 4.** Porcentagem de recuperação do N dos fertilizantes orgânicos quatro plantas de rúcula vaso⁻¹ em função dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Tecnologias de adubação.... 65
- Figura 5.** Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea (a) e superfície específica da parte aérea (b) de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do teor de nitrogênio na matéria seca.....68
- Figura 6.** Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea (a) e superfície específica da parte aérea (b) das plantas de rúcula, em função do teor de nitrogênio na matéria seca.....68
- Figura 7.** Nitrogênio acumulado na parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do tratamento controle e dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Doses de N-total.....69
- Figura 8.** Porcentagem de recuperação do N dos fertilizantes orgânicos por cinco plantas de rúcula vaso⁻¹ em função dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Doses de N-total..... 69

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Teores de C, N, fibras em detergente ácido (FDA), lignina (Lig), celulose (Cel), e relações C/N e Lig/N dos fertilizantes de leguminosas.....	17
Tabela 2. Teores de macronutrientes nos fertilizantes de leguminosas.....	17
Tabela 3. Capacidade de armazenamento de um galpão com volume útil de 20 x 20 x 4 m.....	18
Tabela 4. Especificações granulométricas de fertilizantes orgânicos.....	19
Tabela 5. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.....	19

CAPÍTULO II

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes, dosagens e nutrientes fornecidos.....	28
Tabela 2. Teores médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de alface (cv.Vera), conduzida sob manejo orgânico, aos 37 dias após o transplantio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas	36
Tabela 3. Valor dos coeficientes de correlação (r) entre os teores de Ca e Mg na matéria seca da parte aérea da alface e os teores de N, P, K, Ca e Mg na planta e no solo.....	36
Tabela 4. Balanço de K no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplantio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas	42
Tabela 5. Balanço de N no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplantio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas	44
Tabela 6. Balanço de C-total no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplantio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas	47

CAPÍTULO III

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes orgânicos	54
Tabela 2. Dosagem (quantidade) dos fertilizantes orgânicos e composição química das adubações nos tratamentos do fatorial, e equivalência em campo	54
Tabela 3. Características químicas dos fertilizantes orgânicos utilizados.....	56
Tabela 4. Dosagem (quantidade) dos fertilizantes orgânicos e composição química das adubações nos tratamentos que receberam 1,0 g vaso ⁻¹ de N-total, e sua equivalência em campo.....	57
Tabela 5. Valores médios de massa seca (MS), área foliar (AF) e teores de N, P e Mg na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso ⁻¹	61

Tabela 6. Valores médios da massa de massa fresca (MF) e teores de K e Ca na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹62

Tabela 7. Matriz de correlação de *Pearson*, entre as variáveis: massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), porcentagem de matéria seca (%MS), superfície específica (SE) e teores de N, P, K, Ca e Mg na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹...62

Tabela 8. Valores médios de massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF) e teor de N na matéria seca da parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹67

Tabela 9. Matriz de correlação de *Pearson*, entre as variáveis massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), porcentagem de matéria seca (%MS), superfície específica (SE) e teor de N na matéria seca da parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹67

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I - PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE DIFERENTES FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 Principais Critérios para Escolha de Leguminosas para Adubação Verde	10
2.2 Produção do Fertilizante de Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	10

3.2 Avaliações na Primeira Colheita.....	34
3.2 Avaliações a Partir da Segunda Colheita.....	38
3.3 Avaliação dos Atributos Químicos e Biológicos do Solo	41
4 CONCLUSÕES	48
CAPÍTULO III - EXPERIMENTOS EM VASOS COM RÚCULA (<i>Eruca sativa</i> Mill. cv. Cultivada)	49
RESUMO	50
ABSTRACT	51
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1 Primeiro Experimento	53
2.1.1 Preparo dos fertilizantes orgânicos	53
2.1.2 Delineamento experimental	54
2.1.3 Montagem do experimento	54
2.2 Segundo Experimento	55
2.2.1 Preparo dos fertilizantes orgânicos	55
2.2.2 Delineamento experimental	56
2.2.3 Montagem e condução do experimento	57
2.3 Determinação da Capacidade de Vaso e Manejo da Água nos Experimentos	58
2.3.1 Aplicação do método	58
2.4 Variáveis Avaliadas em Ambos os Experimentos	58
2.4.1 Procedimentos para Obtenção de MF, NF, AF e MS	59
2.4.2 Preparo das amostras e análise química	59
2.5 Análises Estatísticas	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.1 Primeiro Experimento	60
3.1.1 Avaliações realizadas da semeadura a colheita	60
3.1.2 Avaliações realizadas a partir da colheita (40 DAS)	61
3.2 Segundo Experimento	66
3.2.1 Avaliações realizadas antes da colheita	66
3.2.1 Avaliações realizadas após a colheita (36 DAS)	66
4 CONCLUSÕES	71
4.1 Referentes ao Primeiro Experimento	71
4.2 Referentes ao Segundo Experimento	71
4.3 Conclusão Geral	71
CONCLUSÕES GERAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	80

INTRODUÇÃO GERAL

Quando, em 1798, a população mundial chegara a 800 milhões de habitantes, o reverendo Thomas Malthus publicou seu “Ensaio sobre o princípio da população”, alertando que a população crescia em progressão geométrica enquanto a produção de alimentos em progressão aritmética (Arias & Fernandes, 2001). Nesse contexto, a segurança alimentar estava comprometida, e a fome era uma certeza inexorável. Felizmente, a humanidade trilhou novos caminhos, e transformou sua realidade. As previsões de Malthus foram parcialmente refutadas, pois a população mundial realmente cresceu como havia previsto, praticamente dobrando a cada 20-30 anos, nos últimos 100 anos, e atualmente ultrapassa a marca dos 6,5 bilhões de habitantes. No entanto, a produção de alimentos apresentou crescimento vertiginoso, e se ainda hoje existe fome no mundo, não é pela baixa produtividade das culturas, mas pela falta de recursos para se adquirir esse alimento.

A invenção de máquinas, o melhoramento vegetal, o processamento industrial e os avanços científicos na área de nutrição vegetal foram, e continuam sendo fatores preponderantes para o avanço dos sistemas produtivos. As máquinas tornaram os processos de preparo de solo, adubação, plantio, colheita, e manejo das culturas mais práticos e eficientes. O melhoramento selecionou plantas mais produtivas. A industrialização possibilitou a geração de novos gêneros alimentícios e o prolongamento da vida útil dos alimentos. A nutrição vegetal derrubou crenças, e gerou conhecimentos que alicerçam a agricultura moderna.

Entre 1826 e 1855, Carl Sprengel e Justus von Liebig publicaram sobre a importância dos elementos minerais para a vida das plantas (Ploeg et al., 1999). Estas publicações refutaram de vez a teoria humística – na qual as plantas se alimentavam de húmus e, após a morte, retornavam ao húmus –, e deram origem as atuais teorias sobre nutrição de plantas e a tão propalada “Lei do Mínimo”. Por esta Lei quando pelo menos um dos elementos essenciais para as plantas está disponível em quantidade inferior à exigida pela cultura (nutriente limitante), sua produção é limitada. Atualmente, a ciência reconhece a essencialidade de 17 elementos. Entre eles estão aqueles exigidos em grandes quantidades, denominados macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S), e aqueles exigidos em pequenas quantidades, os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) (Furlani, 2004). Os três primeiros (C, H e O) são retirados, principalmente, da água (H₂O) do solo e do gás carbônico (CO₂) atmosférico, e os demais, são elementos minerais absorvidos principalmente da solução do solo.

Em agricultura tropical, P e N são os principais nutrientes limitantes, sendo que este é praticamente inexistente nas rochas que formam o solo (Raij, 1991), além de ser um dos elementos minerais mais requeridos pelas plantas, e o que mais limita sua produção (Souza & Fernandes, 2006). Por esses motivos, quase que inexoravelmente, adubações nitrogenadas são requeridas para que produções satisfatórias sejam alcançadas.

Segundo Mackenzie et al. (1993) mais de 99,9% do N da biosfera está presente na atmosfera (3900×10^{18} g) e menos de 0,1% na água do mar ($0,71 \times 10^{18}$ g) e no solo ($0,032 \times 10^{18}$). Contudo, o N₂ atmosférico é pouco reativo, devido sua estável ligação tríplice, e precisa ser convertido a formas reativas de N (NH₃, NH₄⁺, N-orgânico, NO, NO₂, HNO₃, NO₂⁻, e NO₃⁻) para que se torne assimilável pelos seres vivos (Galloway, 1996). A conversão de N₂ a formas reativas de N, denominada fixação de N₂, pode ocorrer em decorrência de descargas elétricas, atividades vulcânicas, fixação biológica (FBN) ou pela fixação industrial (processo Haber-Bosh) (Cordeiro, 2004). As duas primeiras formas de fixação possuem pouca importância do ponto de vista agrônomo, por serem de difícil controle e aportarem

quantidades relativamente pequenas de N ao solo, enquanto as duas últimas contribuem efetivamente para o aumento da produtividade das culturas.

A legislação brasileira de fertilizantes (Brasil, 2004) divide os adubos nitrogenados em duas categorias, os orgânicos e os minerais. Admite-se também os organominerais, produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. Os fertilizantes orgânicos podem ser de origem vegetal, animal ou mista. Os fertilizantes minerais são obtidos a partir do processo Harber-Bosch, por meio da síntese industrial de amônia (NH₃) em condições de alta pressão e temperatura – existe também o salitre do Chile, de origem mineral, porém com menor importância para o setor agrícola.

A FBN é realizada por alguns microrganismos procariotos (bactérias, cianobactérias e actinomicetos), detentores do complexo enzimático nitrogenase, que é capaz de catalisar a redução do nitrogênio molecular (N₂) a amônia (NH₃) (Reis et al., 2006). Esses organismos podem ser de vida livre ou estabelecer relações mutualísticas com plantas de diversas categorias taxonômicas. As associações mutualísticas/simbióticas, especialmente as que ocorrem em nódulos radiculares de plantas da família Leguminosae, são as mais relevantes, por serem capazes de aportar grandes quantidades de N, dispensando, em alguns casos, adubações nitrogenadas (Cordeiro, 2004).

A Lei 10.831 de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências, define sistema orgânico de produção agropecuária como todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente (Brasil, 2003). Esta Lei e diversas normativas técnicas que regulamentam esses sistemas (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006), repudiam o uso de N-sintético na produção orgânica.

Fertilizantes orgânicos, tais como esterco, compostos e resíduos agroindustriais têm sido amplamente utilizados como fontes de N, mas são insuficientes para alicerçar e exponenciar a agricultura orgânica mundial (Almeida, 1991; Katouniam, 2001). Além disso, nem sempre estão disponíveis dentro ou próximos à unidade de produção, e são alvo de uma série de restrições técnicas em relação ao seu emprego em agricultura orgânica (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006). Nesse sentido, a FBN, mais especificamente, a adubação verde com leguminosas, assume relevância por possibilitar a redução da dependência externa de insumos, e aumentar o nível de autonomia do sistema quanto ao uso de N.

Pieters (1927) definiu adubação verde como uma prática de enriquecimento do solo com material vegetal não decomposto (exceto resíduos de culturas) de plantas crescidas no local ou trazidas de fora. Mais recentemente, Costa (1992) e Espindola et al. (2005) a definiram como prática agrícola que consiste no plantio de espécies vegetais, de ciclo anual ou perene, em rotação ou consórcio com culturas de interesse econômico, que depois são incorporadas ou mantidas sobre a superfície do terreno, promovendo melhorias das características químicas, físicas e biológicas do solo. Embora possam ser cultivadas diversas famílias botânicas, têm-se dado preferência ao uso de plantas da família Leguminosae, pela alta capacidade de FBN, produção de biomassa e acúmulo de N (Costa, 1992; Espindola et al., 2005). Para se ter uma idéia, uma leguminosa herbácea como a *Crotalaria juncea*, pode acumular facilmente mais de 250 kg ha⁻¹ de N em um único ciclo de cultivo (Costa, 1992; Pereira, 2004; Leal, 2006), com um percentual considerável proveniente da FBN (75-86%)

(Pereira, 2004), já uma espécie arbórea, como a *Leucena leucocephala*, consegue fixar de 400 a 1000 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N (Costa, 1992) – quantidades que superam as necessidades das culturas mais exigentes.

A transferência do N dos resíduos de leguminosas à cultura principal ocorre a partir da mineralização do N-orgânico (principalmente o protéico) desses materiais, e sua absorção pelas plantas. No entanto, têm-se observado que, em geral, menos de 1/3 do N contido nesses resíduos são aproveitados pelas culturas (Giller & Cadisch, 1995; Peoples et al., 1995; Fillery, 2001; Crews & Peoples, 2005). Acredita-se que o ponto chave para a melhoria da eficiência da adubação verde, está na otimização da sincronia entre a liberação do N dos resíduos de leguminosas e demanda desse mineral pelas culturas (Campbell, 1995; Giller & Cadisch, 1995; Crews & Peoples, 2005; Espindola et al., 2005).

O presente estudo apresenta uma tecnologia inovadora de adubação verde, derivada do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de determinadas plantas da família Leguminosae (com elevado potencial de fixação biológica de N₂, acúmulo de N e facilidade de manejo), com posterior armazenagem e uso do material produzido, denominado fertilizante de leguminosa. O estudo teve como meta principal a avaliação das seguintes hipóteses:

1. A produção dos fertilizantes de leguminosas é tecnicamente possível, em pequena ou grande escala; possibilita a estocagem de grandes quantidades de adubo verde em espaços relativamente pequenos; possibilitando sua produção e uso de forma sistemática, em quantidades e épocas adequadas, favorecendo a sincronia/eficiência da provisão de N;
2. Fertilizantes de leguminosas são fontes eficazes provisão de N em sistemas orgânicos de produção, capazes de substituir cama de aviário industrial, oriunda de galpão de frangos para abate, em dosagem equivalente de N-total.

Esta dissertação é constituída por três Capítulos distintos. O primeiro deles, intitulado: “Produção e caracterização física e química de diferentes fertilizantes de leguminosas”, teve como objetivos:

1. Desenvolver e avaliar tecnologias de produção de cinco fertilizantes de leguminosas, três das espécies herbáceas mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e arachis, também conhecido como amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*); e dois das espécies arbóreas gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*);
2. Realizar análise comparativa com base em características físicas e químicas desses fertilizantes.

O segundo Capítulo, intitulado: “Experimentos com a cultura da alface (*Lactuca sativa* L. cv. Vera)”, teve como objetivos:

1. Avaliar o potencial de uso de dois fertilizantes de leguminosas, um de mucuna cinza e outro de gliricídia, em contraste com cama de aviário industrial – assegurando-se dosagens equivalentes de N-total – como fontes alternativas de N para adubação de cobertura de alface em sistema orgânico;
2. Avaliar a influência destas adubações sobre a vida útil pós-colheita da hortaliça, em condições de bancada de laboratório;
3. Avaliar o impacto das adubações sobre atributos químicos e biológicos do solo.

O terceiro Capítulo, intitulado: “Experimentos em vasos com rúcula (*Eruca sativa* Mill. cv. Cultivada)”, teve como objetivos:

1. Avaliar a eficiência de duas tecnologias de adubação (em cobertura ou incorporação), com os fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia e com cama de aviário industrial, assegurando-se dosagens equivalentes de N-total, quanto à provisão de N para rúcula, cultivada sob semeadura direta;
2. Comparar a eficiência de duas dosagens de N-total, com fertilizantes de crotalária, arachis, mucuna cinza, gliricídia e leucena, e com cama de aviário industrial, quanto à provisão de N para rúcula cultivada sob semeadura direta;
3. Avaliar a influência desses diferentes manejos de adubação orgânica sobre a germinação e estabelecimento das plântulas de rúcula.

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE DIFERENTES FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS

RESUMO

A agricultura orgânica tem apresentado crescimento médio anual na ordem de 20-25%. Contudo, esse incremento tem sido assegurado pelo aporte de grandes quantidades de fertilizantes orgânicos, tais como esterco, compostos e resíduos agroindustriais, sobretudo para provisão de nitrogênio (N). Esses insumos, além de finitos, são alvos de uma série de restrições técnicas. Nesse sentido, a adubação verde com leguminosas assume relevância por aportar grandes quantidades de N, via fixação biológica de N₂ (FBN), com possibilidade de tornar o sistema auto-suficiente para este elemento. Entretanto, as tradicionais tecnologias de adubação verde, em consórcio ou rotação, ainda enfrentam grandes desafios para concretização desse ideal. Este Capítulo apresenta uma tecnologia inovadora de adubação verde, derivada do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de determinadas plantas da família Leguminosae (com elevado potencial de FBN, acúmulo de N e facilidade de manejo), com posterior armazenagem e uso do material produzido, denominado fertilizante de leguminosa. Foram objetos deste estudo: o desenvolvimento e a avaliação de tecnologias de produção de cinco fertilizantes de leguminosas; e a caracterização física e química desses materiais, com ênfase em seu potencial de armazenagem e biodisponibilização de N. As leguminosas utilizadas foram: mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), de porte herbáceo-volúvel, crotalária (*Crotalaria juncea*), de porte herbáceo-ereto, arachis (*Arachis pintoi*), de porte herbáceo-rastejante e gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), ambas de porte arbóreo. A produção dos fertilizantes englobou os processos de corte da parte aérea – seguido de picagem (para crotalária) e de retirada de galhos para as espécies arbóreas –, secagem ao sol, moagem (malha de 2 e 7 mm), homogeneização e armazenamento. Para fins de padronização e análises comparativas, os fertilizantes foram secados em estufa a 65°C e re-moídos em moinho Wiley com peneira de malha de 1 mm de diâmetro, sendo realizadas as análises de densidade e de teores de macronutrientes, fibras, celulose e lignina. A mucuna cinza foi a espécie que ofereceu maior dificuldade ao processamento do fertilizante, devido à desuniformidade e volume da biomassa aérea. Os fertilizantes de crotalária e mucuna cinza apresentaram as menores densidades (223 e 227 kg m⁻³, respectivamente) – o que pareceu estar relacionado com o maior conteúdo de fibras desses vegetais –, enquanto os fertilizantes das espécies arbóreas as maiores densidades (373 e 403 kg m⁻³, para leucena e gliricídia, respectivamente) e concentrações de N (35,2-36,9 g kg⁻¹, para gliricídia e leucena, respectivamente), e conseqüentemente, maior potencial de armazenamento de N, em média, 2,8; 2,2 e 1,3 vezes superior aos fertilizantes de crotalária, mucuna cinza e arachis, respectivamente. O fertilizante de gliricídia, por apresentar a menor relação lignina/N (2) e baixa relação C/N (13), é o que possui maior potencial químico para biodisponibilização de N. Tendo em vista que um galpão com área útil de 20 x 20 m, e empilhamento das sacarias a 4 m de altura, tem capacidade de armazenar 30 a 64 ha campos de leguminosas, desidratadas e finamente moídas, pode-se inferir que a tecnologia dos fertilizantes de leguminosas torna totalmente possível à estocagem de grandes quantidades de adubo verde, em espaços relativamente pequenos.

Palavras-chave: fertilizantes orgânicos, adubação verde, provisão de nitrogênio.

ABSTRACT

The organic agriculture has been presenting annual average growth in the order of 20-25%. However, that increment has been assured by the contribution of great amounts of organic fertilizers, such as manures, composting of agroindustrial residues, mainly for nitrogen supply (N). Those input, besides finite, are object of a series of technical restrictions. In that sense, the green manuring with legumes assumes relevance for adding great amounts of N, through biological N₂ fixation (BNF), with the possibility of having a self-sufficient supply system for this element. However, the traditional technologies of green manuring, in rotation or intercropping, still facing a great challenge to achieve this goal. This Chapter presents an innovative technology of green manuring, derived of the cutting, dehydration and milling of the aerial biomass of some plants from Leguminosae family (with high potential of BNF, N accumulation and handling easiness), with posterior storage and use of this produce, denominated legume fertilizer. It was object of this study the following steps: the development and evaluation of production technologies for five legume fertilizers; and the physical and chemical characterization of those materials, with emphasis in its storage potential and biodisponibilization of N. The legumes used were: velvet bean (*Mucuna pruriens*), herbaceous and climbing type; sunn hemp (*Crotalaria juncea*), herbaceous and erect type; arachis (*Arachis pintoi*), herbaceous and prostate type; gliricidia (*Gliricidia sepium*) and leucaena (*Leucaena leucocephala*), tree types. The fertilizer production included the processes of cutting of the aerial part – followed by pricking (for sunn hemp) and pruning of branches for the tree species –, sun drying, milling (2 and 7 mm mesh), homogenization and storage. For standardization and comparative analyses, the fertilizer samples were oven dried at 65°C and re-milling in Wiley mill (1mm mesh) and analyzed for density, macronutrient, fiber, cellulose and lignin content. Velvet bean was specie that offered the largest difficulty for processing, due to the un-uniformity and large volume of the aerial biomass. Sunn hemp and velvet bean fertilizers presented the smallest densities (223 and 227 kg m⁻³, respectively) – what seems to be related to the high fiber content of those materials –, while the tree species showed the largest densities (373 and 403 kg m⁻³, for leucaena and gliricidia, respectively) and N content (35.2-36.9 g kg⁻¹, for gliricidia and leucaena, respectively), and consequently, the best potential for N storage, on the average, 2.8; 2.2 and 1.3 times superior to the sunn hemp, velvet bean and arachis fertilizers, respectively. The gliricidia fertilizer, for presenting the smallest lignin/N ratio (2) and low C/N ratio (13), has the highest potential for chemical biodisponibilization of N. A storage house of 20 x 20 m pilling up to 4 m height has the storage capacity of 30 to 64 ha of harvested material after dehydrating and milling. With these figures one can infer that this legume fertilizer technology makes possible to store great amounts of green manure in relatively small space.

Key words: organic fertilizers, green manuring, nitrogen supply.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a fragilidade das cadeias produtivas têm levado a sociedade a refletir sobre a questão da segurança alimentar – quando todas as pessoas, a todo momento, têm acesso físico e econômico a alimentos seguros, nutritivos e suficientes para satisfazer suas necessidades nutricionais diárias e preferências alimentares, a fim de levarem uma vida ativa e saudável (World Food Summit, 1996).

A agricultura orgânica além de garantir produção de alimento seguro, sem utilização de agrotóxicos, incorpora ao seu discurso questões relacionadas à preservação do meio ambiente, utilização responsável dos recursos naturais, responsabilidade social e sustentabilidade. Nas últimas décadas, tem apresentado crescimento médio anual na ordem de 20-25% (Ormond et al., 2002), não sendo mais um fenômeno apenas de países desenvolvidos, pois já é praticada comercialmente em 120 países, representando 31 milhões de hectares e um mercado de US\$ 40 bilhões em 2006 (Willer & Youssefi, 2007).

Contudo, tem-se observado que a expansão dos sistemas orgânicos de produção tem sido acompanhada pelo aporte de grandes quantidades de esterco, compostos e resíduos agroindustriais, geralmente provenientes de localidades distantes a propriedade. Por um ponto de vista agrônomo, essas importações são necessárias para restituir ao solo os elementos retirados a cada colheita, com a finalidade de manter, ou mesmo ampliar, seu potencial produtivo. Por outro lado, essas importações caracterizam certa dependência do sistema produtivo, e atrelam a viabilidade técnica/econômica do empreendimento a disponibilidade, preços e custos de transporte desses materiais. Além disso, normativas técnicas (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006), restringem ou até mesmo proíbem o uso de determinados fertilizantes orgânicos, principalmente se oriundo de estabelecimento industrial.

A fim de mitigar essa problemática, a Agroecologia, definida por Gliessman (2001) como a aplicação de conceitos e princípios ecológicos no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis, tem buscado desenvolver tecnologias, no âmbito da agricultura orgânica, capazes de melhorar a autonomia/eficiência do sistema produtivo, minimizando a dependência de insumos externos.

O desenvolvimento de sistemas agroecológicos, com ênfase na adubação verde com leguminosas, tem se destacado como uma das principais tecnologias no meio rural para fertilização “natural” do solo. Muitas espécies vegetais da família Leguminosae possuem elevada capacidade de fixação biológica de N_2 graças a associações simbióticas/mutualísticas com bactérias diazotróficas, que possibilitam o acúmulo de grandes quantidades de N na biomassa vegetal. Além disso, graças as suas raízes profundas e associações micorrízicas, essas plantas têm capacidade de recuperar e reciclar nutrientes das camadas mais profundas do solo, onde raízes de outras espécies não conseguem alcançar. Quando cortadas e deixadas sobre o solo ou incorporadas, favorecem a atividade biológica, ao acúmulo de C, N e de outros nutrientes no solo, promovendo melhorias de suas características físicas, químicas e biológicas.

De modo geral, existem duas tecnologias de adubação verde praticadas, em rotação (ou pré-cultivo) e em consórcio. Na primeira a leguminosa é cultivada previamente a cultura de interesse econômico, e em determinada ocasião – geralmente quando o estande atinge 50% de florescimento –, é incorporada ou mantida em superfície para o plantio da cultura subsequente. Na segunda a leguminosa é cultivada junto à cultura principal, podendo estar na entrelinha da cultura, em aléias ou faixas intercalares, sendo manejada (podada ou cortada) em momento oportuno (Espindola et al., 2005). Existe também um manejo muito difundido,

no qual a mucuna (cinza ou preta) é semeada na linha do milho, quando este se encontra já bem estabelecido. Esse manejo possibilita a colheita do milho e adubação verde para cultura subsequente, é praticamente um híbrido das práticas anteriores.

Apesar da adubação verde com leguminosas ser capaz de melhorar as propriedades do solo, aumentar a biodiversidade funcional, reduzir a necessidade da importação de insumos e contribuir de forma significativa para o fornecimento de N para outras culturas, nem sempre tem sido adotadas pelo produtor rural, por causa da falta de espaço na unidade de produção, pela dificuldade de manejo, desconhecimento, ou até mesmo pelos baixos rendimentos propiciados às culturas – raramente a adubação verde consegue garantir as exigências de N das culturas, tendo em vista que a eficiência das tradicionais práticas geralmente situa-se na faixa de 10 a 30% (Giller & Cadisch, 1995; Peoples et al., 1995; Fillery, 2001; Crews & Peoples, 2005), tornando-se praticamente indispensável, suplementação com outras fontes de N para que produções satisfatórias sejam alcançadas.

O presente estudo apresenta uma tecnologia inovadora de adubação verde, derivada do

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Principais Critérios para Escolha de Leguminosas para Adubação Verde

Não existe uma planta padrão para adubação verde, aquela que apresente somente características positivas. Todas as espécies apresentam suas limitações, vantagens e desvantagens que irão variar conforme condições de clima e solo e práticas manejo. Entretanto, alguns critérios podem ser desejáveis, tais como: rápido crescimento inicial; elevado potencial de fixação biológica de N₂, produção de biomassa e acúmulo de N na parte aérea; sistema radicular profundo; associações micorrizas; adaptação local; eficiência no uso de água; facilidade de propagação, competitividade com espécies espontâneas, tolerância a pragas, doenças e adversidades climáticas; e possibilidade de uso para alimentação animal.

As espécies aqui utilizadas (*Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*) contemplam com praticamente todos esses quesitos, tendo apresentado bons resultados, quanto ao seu emprego, no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA – “Fazendinha Agroecológica Km 47”), projeto de cooperação técnica entre a Embrapa Agrobiologia e Embrapa Solos, a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio/Estação Experimental de Seropédica) e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Almeida et al., 2003). O SIPA localiza-se no Município de Seropédica, Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. O clima da região pertence à classe Aw, segundo a classificação de Köppen.

2.2 Produção do Fertilizante de Crotalária (*Crotalaria juncea* L.)

O fertilizante de crotalária foi produzido a partir do corte, picagem, desidratação e moagem dos terços médio e superior da planta – cultivada em área do Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia (Terraço), em Seropédica, RJ. O corte foi realizado no início de abril de 2006, com o estande em pleno florescimento; a picagem logo a seguir em picadeira de forragem; e a desidratação teve lugar ao relento, sobre lona de polietileno preto, sendo realizada reviragem da biomassa nos finais de tarde, visando uniformizar a secagem. Em seguida, o material seco foi levado para uma fábrica de ração e triturado em moinho de martelos equipado com peneira de 7 mm de diâmetro e silo aéreo. No final do processo foi homogeneizado e acondicionado em sacolas de polietileno preto de 200 L. Foram produzidos cerca de 100 kg desse fertilizante.

2.3 Produção do Fertilizante de Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens* (L.) DC.)

O fertilizante de mucuna cinza foi produzido a partir do corte, secagem e moagem da parte aérea da planta – cultivada no SIPA. A mucuna cinza foi semeada em dezembro de 2004 e cortada aos 135 dias do ciclo. A biomassa foi transportada em carreta para uma casa de vegetação pavimentada, onde ocorreu sua desidratação. Em seguida, o material foi levado para uma fábrica de ração e triturado em moinho de martelos equipado com peneira de 3 x 13 mm e silo aéreo. No final do processo foi homogeneizado e acondicionado em sacolas de polietileno preto de 200 L. Foram produzidos cerca de 80 kg desse fertilizante.

2.4 Produção do Fertilizante de Arachis (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.)

O arachis foi produzido a partir da poda de plantas cultivadas em canteiros (no Terraço), secagem sobre lona de polietileno preto e moagem em moinho de facas (Wiley), equipado com peneira de malha de 2 mm de diâmetro. No final do processo o material foi

homogeneizado e acondicionado em sacola de polietileno preto de 100 L. Foram produzidos cerca de 5 kg desse fertilizante.

2.5 Produção do Fertilizante de Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.)

2.5.1 Secagem em condições de campo

O fertilizante de gliricídia foi processado a partir da receita de árvores plantadas no SIPA a cerca de dois anos. Essas árvores originaram-se do plantio de estacas (1,5 m de comprimento por 5 cm de diâmetro), a intervalos de 1,5 m, constituindo faixas espaçadas de 8 m entre si. Os troncos foram cortados a 0,5 m de altura, com auxílio de moto-serra, e a desidratação teve lugar ao relento sobre lona de polietileno preto. Após a secagem, os galhos foram removidos, e o material remanescente (folíolos e pecíolos) triturado em moinho de facas com abertura de malha de 2 mm de diâmetro, homogeneizado e acondicionado em sacolas de polietileno de 200 L. Foram produzidos cerca de 40 kg desse fertilizante.

2.5.2 Secagem em casa de vegetação

Difere-se do sub-item anterior, por ter sido realizada desfolha manual, e secagem em casa de vegetação. Foram produzidos cerca de 20 kg desse fertilizante.

2.5 Produção do Fertilizante de Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit)

O fertilizante de leucena foi processado a partir da receita de árvores, cultivadas no Terraço a cerca de 20 anos. Essas árvores constituíam cinco faixas espaçadas de 4 m, a intervalos entre plantas de 0,10 m. A receita anterior havia sido realizada com cinco meses de antecedência. O corte foi realizado a 0,8 m de altura, com auxílio de facão, a biomassa foi transportada para local pavimentado (piso de cimento), onde ocorreu sua secagem ao relento. Decorrido o desprendimento dos folíolos e pecíolos, os galhos foram retirados, e o material remanescente, depois de seco, levado para uma fábrica de ração e triturado em moinho de martelos equipado com peneira de 7 mm de diâmetro e silo aéreo. No final do processo foi homogeneizado e acondicionado em sacolas de polietileno preto de 200 L. Foram produzidos cerca de 60 kg desse fertilizante.

2.7 Padronização dos Fertilizantes de Leguminosas e Análises Químicas e Física

Para fins de padronização e análises comparativas, amostras compostas (com aproximadamente 600 g) dos fertilizantes (exceto o de gliricídia secado em campo) foram secadas em estufa com ventilação forçada e regulada a 65°C, processadas em moinho Wiley equipado com peneira com malha de 1 mm de diâmetro, e armazenadas em recipientes de vidro de 3 L, hermeticamente fechados. Esses recipientes antes de serem tampados, permaneceram em estufa (65°C) por 24 h. Os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados após digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). O P em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor; Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica e o K em fotômetro de chama (Embrapa, 1997). O N foi determinado em Kjeldahl, após digestão sulfúrica (Bremner & Mulvaney, 1982). O teor de C pelo método da perda por ignição, descrito por Kiehl (1985), porém modificado para 4 h em estufa a 105°C, e 2 h em mufla a 550°C. Os teores de fibras em detergente ácido (FDA), lignina e celulose foram determinados, conforme Van Soest & Wine (1968). A densidade dos fertilizantes, já padronizados, foi estimada a partir do acondicionamento desses em recipiente com volume de 145 mL, a crotalária picada, em recipiente de 11 L, e a moída

em moínho de martelos equipado com peneira de 7 mm de diâmetro, em recipiente de 4,1 L. O recipiente, previamente tarado em balança digital de precisão (0,01 g), recebeu o fertilizante, e por intermédio de dez batidas no fundo, levemente compactado, sendo em seguida realizado corte com régua ao nível da abertura do recipiente, e pesagem. Em seguida, foram realizados os cálculos das relações massa volume⁻¹ (densidade). As análises químicas foram realizadas em triplicata e as de densidade em quatro repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Relato das Experiências de Produção dos Fertilizantes de Leguminosas

O fertilizante de mucuna cinza foi o que ofereceu maior dificuldade para seu processamento. A planta, de hábito de crescimento volúvel e indeterminado, cresce em todas as direções, cobrindo rapidamente o solo. A desuniformidade e o grande volume da biomassa aérea da planta dificultaram o corte manual, transporte, secagem e moagem (entrada no moinho) do material. Por outro lado, dentre as espécies estudadas é a mais agressiva do ponto de vista de concorrência com a comunidade de plantas infestantes, pela característica de se sobrepor sobre essas plantas. Para produção mais intensificada do fertilizante de mucuna cinza, sugere-se a adoção de tecnologias que promovam, ainda em campo, padronização e redução do volume da biomassa aérea, como o corte e picagem da biomassa fresca, com máquina apropriada.

A produção do fertilizante de gliricídia com desfolha e secagem em casa de vegetação é trabalhosa, sendo indicada apenas para produções em pequena escala, nas quais o processo de moagem, das folhas (pecíolos e folíolos) secas e levemente amassadas, pode ser realizado até mesmo em aparelho liquidificador (experiência do autor). A outra tecnologia descartou a desfolha manual e a secagem foi realizada em campo. À medida que as árvores eram recepadas, os galhos eram cortados e distribuídos sobre lona de polietileno preto (20 x 4 m), ao lado das plantas. A desfolha ocorreu de forma natural, e a retirada de galhos, por serem grossos e compridos, foi de fácil execução. No entanto, a ocorrência de chuvas atrasou a secagem, e provavelmente promoveu perdas de nutrientes.

Diferentemente da produção do fertilizante de gliricídia, a retirada dos galhos de leucena foi de difícil execução. Apesar dos folíolos se desprenderem rapidamente, os pecíolos ficaram emaranhados com os galhos, e estes por serem abundantes, finos e pouco compridos, dificultaram a triagem do material. Durante os primeiros dias de secagem do material choveu. Verificou-se que o piso de cimento, por ser bastante poroso, reteve muita umidade, atrasando a secagem do material. Verificou-se também, que as partes que estavam molhadas, exalavam a amoníaco, o que certamente representa perdas de N por volatilização de amônia (NH_3^+). Esse tipo de perda é muito comum no processo de compostagem, no qual as perdas de N situam-se na faixa de 20 a 60% (Kiehl, 1985; Leal, 2006).

É interessante ressaltar que para produção de massa verde de gliricídia e leucena é aconselhável adensamento das plantas, e podas fr

tecnologias destinadas especialmente à fenação, essas tecnologias poderiam ser adaptadas, visando à produção do fertilizante, pois a secagem em campo pode baratear sua fabricação e o enfardamento diminui o volume da biomassa facilitando seu transporte e armazenamento até a moagem. No entanto, pelo que tem sido observado em campo, em Seropédica, RJ, o arachis não é suficientemente agressivo ao ponto de competir com a comunidade de plantas infestantes, sendo este um fator atenuante para sua produção, em especial em sistemas orgânicos, onde o uso de herbicida é proibido (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006).

O fertilizante de crotalária foi produzido a partir do corte dos terços médio e superior da planta. Este procedimento foi vantajoso por permitir a colheita de biomassa mais tenra, e a produção de sementes na época seca – mais favorável segundo Pereira (2004). No entanto, de difícil execução, tendo em vista que a biomassa tinha que ser retirada da área de produção sem que terço inferior da planta fosse pisoteado. É evidente que o corte total da planta tornaria o processo muito mais simples e eficiente/rápido.

Dentre as leguminosas estudadas, a crotalária parece ser a que possui as maiores facilidades para produção do fertilizante em escala industrial, pois já existem no mercado máquinas que podem ser prontamente aproveitadas para implantação da cultura (semeadoras/adubadoras), e outras que cortam, picam e abastecem carreta em uma única operação (colhedoras de forragens). Além disso, é planta de crescimento rápido, agressivo, que praticamente dispensa capinas, assim como a mucuna cinza, mas com a vantagem de possuir estande com crescimento ortotrópico, uniforme, que facilita o corte mecanizado.

3.2 Características da Tecnologia e de Atributos Físicos dos Fertilizantes de Leguminosas

A picagem da biomassa reduz drasticamente seu volume (Anexo A), e de certa forma, padroniza o material. A desidratação (ou secagem) aumenta sua proporção de massa útil, e torna os resíduos de leguminosas mais leves e aptos para moagem. Além disso, promove redução da atividade de água, minimizando o crescimento microbiano e a ação de enzimas (Fellows, 2006), e com isso, o prolongamento do tempo de conservação de suas características químicas, especialmente N. A moagem torna o material mais uniforme e reduz notadamente seu volume (Figura 1), facilitando sua aplicação, armazenamento e transporte. Além disso, pode elevar a eficiência dos fertilizantes orgânicos, que em geral, está intimamente ligada ao seu grau de finura (Kiehl, 1985).

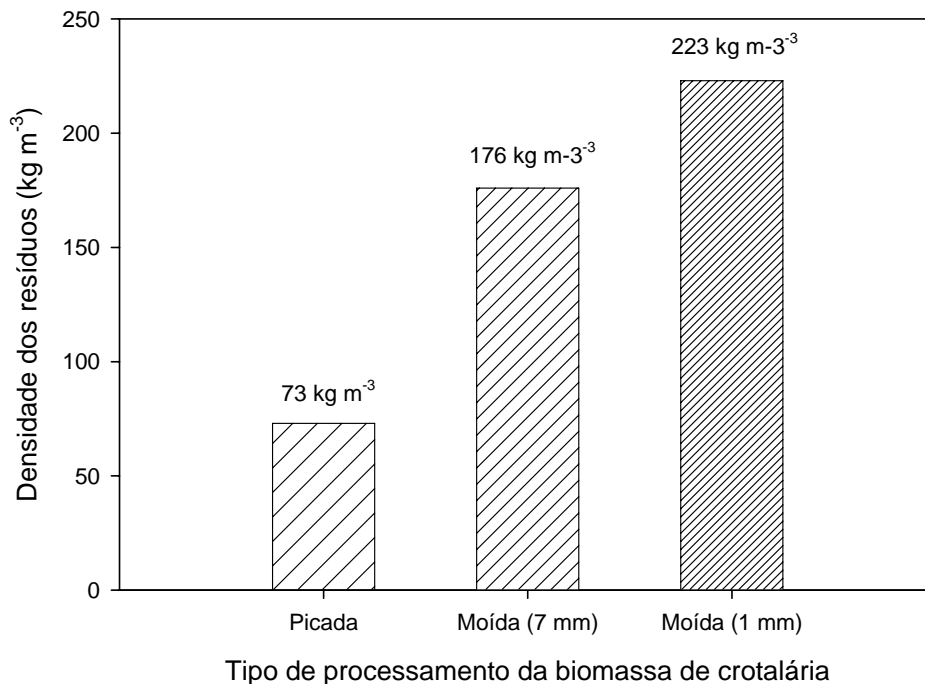


Figura 1. Influência do processamento da biomassa de crotalária sobre sua densidade. Os valores foram apresentados em base seca (65°C).

De modo geral, a secagem das leguminosas ao sol atingiu um mínimo de $\pm 6\%$ de umidade, enquanto durante o armazenamento, a umidade dos fertilizantes, variou entre 6 e 14%. O moinho de martelos mostrou-se bastante adequado/eficiente, para o processamento da biomassa seca, no entanto, seu funcionamento demandou elevado nível de ruído (motor de 10 CV), e suspensão de material particulado, sendo necessária utilização de equipamentos de proteção apropriados – protetor auricular, máscara e óculos de proteção. E por serem leves, deve-se ter a preocupação de serem aplicados ao solo em condições de pouco vento, e de preferência levemente incorporados, realizando-se irrigação logo a seguir, reduzindo assim os riscos de carreamento eólico. É recomendável que o manuseio dos fertilizantes de leguminosas seja sempre realizado com máscara apropriada, para se evitar inalação do produto. A granulação ou a peletização provavelmente reduziria a ocorrência desses problemas, mas aumenta os custos de produção, e pode reduzir a eficiência do fertilizante (Kiehl, 1985).

Segundo Fellows (2006) a densidade a granel do material depende da densidade do sólido e da geometria, do tamanho e das propriedades das partículas individuais, afirmativa que provavelmente explica as diferenças encontradas entre os fertilizantes de leguminosas (Figura 2), que variou de 223 a 403 kg m³, estando de acordo com Kiehl (1985), que relata densidades para matéria orgânica na faixa de 200 a 400 kg m³. Tendo em vista que quanto maior a densidade, maior a quantidade de massa que se pode alocar em um determinado local, pode-se inferir que os fertilizantes de crotalária e de mucuna cinza são os mais dispendiosos, em relação à armazenagem e transporte do produto. Considerando-se uma ordem decrescente de magnitude, quanto à densidade (ou capacidade de armazenamento do produto), os fertilizantes de leguminosas poderiam ser assim organizados: gliricídia (181%) > leucena (167%) > arachis (162%) > mucuna (102%) = crotalária (100%).

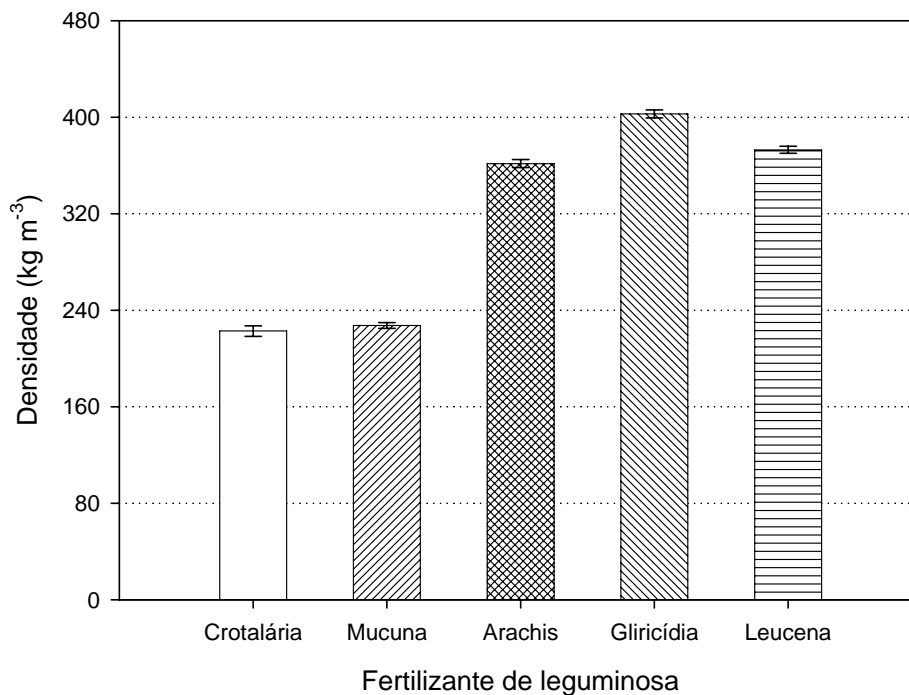


Figura 2. Densidade dos fertilizantes de leguminosas (com 0% de umidade a 65°C), triturados em moinho de facas (Wiley) equipado com peneira de malha de 1 mm de diâmetro. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média de quatro repetições.

3.3 Características Químicas dos Fertilizantes de Leguminosas

Verificou-se que os cinco fertilizantes de leguminosas apresentam teores de C relativamente próximos, variando na faixa de 48,9 a 51,0% (Tabela 1). Nesse sentido, pode-se dizer que o componente que efetivamente influi sobre a magnitude da relação C/N é o teor de N. O teor de N, ou a relação C/N, têm sido reportados como os principais atributos químicos relacionados com a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e disponibilização de N (Frankenberger & Abdelmagid, 1985; Kiehl, 1985). A adição de resíduos com elevada relação C/N (> 25) pode levar a uma imobilização do nitrogênio pelos microrganismos do solo, enquanto resíduos com baixa relação C/N (< 25) tendem a sofrer uma decomposição rápida, resultando em mineralização líquida de N (Haynes, 1986). No entanto, vários estudos indicam que outros atributos químicos, tais como teores de lignina (Lig) e polifenóis (Pol), relações Lig/N, Pol/N e (Lig+Pol)/N (Oglesby & Fownes, 1992; Fox et al., 1990, Palm & Sanchez, 1991, Handayanto et al., 1994, 1995 e 1997), também influenciam na decomposição e liberação de N. Nesse sentido, resíduos vegetais de alta qualidade (alto teor de N, baixos teores de lignina e polifenóis) apresentam elevada taxa de decomposição e biodisponibilização de N.

Os fertilizantes derivados das espécies arbóreas (gliricídia e leucena) são notadamente os que apresentam os maiores teores de N, e obviamente as menores relações C/N (Tabela 1). Por esse critério, é esperado que a taxa de decomposição e mineralização líquida de N desses fertilizantes no solo sejam superiores aos demais. Por outro lado, verifica-se que o fertilizante de leucena apresenta teor elevado de lignina, o que possivelmente desfavorecerá a disponibilização de N. Em todo caso, o fertilizante de gliricídia além de possuir elevado teor de N, baixa relação C/N, possui os mais baixos teores de lignina e celulose, e relação lignina/N, sendo portanto o fertilizante com maior potencial químico para biodisponibilização de N.

Tabela 1. Teores de C, N, fibras em detergente ácido (FDA), lignina (Lig), celulose (Cel), e relações C/N e Lig/N dos fertilizantes de leguminosas⁽¹⁾.

Fertilizante de leguminosa	C	N	FDA	Lig	Cel	C/N	Lig/N
	----- (%) -----					--- (adimensional) ---	
Fertilizante de crotalária	51,0	2,20	44	14	30	23	6
Fertilizante de mucuna cinza	49,8	2,85	43	14	27	18	5
Fertilizante de arachis	48,9	3,00	27	9	17	16	3
Fertilizante de gliricídia	49,7	3,52	19	7	12	14	2
Fertilizante de leucena	49,1	3,69	35	16	17	13	4

⁽¹⁾Valores expressos em base seca (65°C).

A Tabela 2 apresenta os resultados dos teores de macronutrientes dos fertilizantes. De modo geral, encontram-se distribuídos na seguinte ordem de concentração: N > K > Ca > Mg > P, mostrando a potencialidade das leguminosas em aportar N e de reciclar quantidades consideráveis de outros elementos no sistema solo-planta.

Tabela 2. Teores de macronutrientes nos fertilizantes de leguminosas⁽¹⁾.

Fertilizante de leguminosa	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Fertilizante de crotalária	22,0	1,8	8,0	9,8	5,3
Fertilizante de mucuna cinza	28,5	2,4	23,5	10,4	3,0
Fertilizante de arachis	30,0	1,4	16,3	13,9	3,7
Fertilizante de gliricídia	35,2	1,2	13,5	15,2	5,2
Fertilizante de leucena	36,9	1,4	21,0	15,3	4,6

⁽¹⁾Valores expressos em base seca (65°C).

3.4 Estimativas da Capacidade de Armazenamento de um Armazém Convencional

Armazém convencional constitui-se de uma unidade armazenadora apropriada para receber produtos agrícolas em sacarias, ou volumes individualizados empilháveis (latas, tambores, fardos, etc.) (Brandão, 1989). Admiti-se que, normalmente, a área útil de um armazém convencional represente 80% da área total que o mesmo ocupa.

Considerando um galpão com área útil de armazenagem de 20 x 20 m e empilhamento das sacarias a 4 m de altura, foi calculada a capacidade de armazenagem dos cinco fertilizantes de leguminosas estudados (Tabela 3).

Verificou-se que o galpão é capaz de armazenar campos de leguminosas de 30 a 64 ha, ou de 356 a 644 Mg de fertilizantes de leguminosas, que corresponde a estocagem de 7.845 a 22.675 kg de N. Considerando área total do galpão de 500 m², pode-se inferir que um armazém com 80% de área útil, e altura de armazenamento de 4 m, consegue aportar campos de leguminosas de aproximadamente 600 a 1.300 vezes seu tamanho. Essas estimativas evidenciam que a transformação da biomassa de leguminosas em fertilizantes, torna totalmente possível a estocagem de grandes quantidades de adubo verde, em espaços relativamente pequenos. É interessante destacar ainda, o elevado potencial de armazenamento

Tabela 3. Capacidade de armazenamento de um galpão com volume útil de 20 x 20 x 4 m.

Fertilizante de leguminosa	Densidade dos fertilizantes (kg m ⁻³)	Produtividade de biomassa seca esperada (Mg ha ⁻¹)	Capacidade do armazém		
			(ha)	(Mg)	(kg N)
Fertilizante de crotalária	223	10 ⁽¹⁾	36	356	7.845
Fertilizante de mucuna cinza	227	7 ⁽²⁾	52	364	10.354
Fertilizante de arachis	362	9 ⁽³⁾	64	578	17.355
Fertilizante de gliricídia	403	15 ⁽⁴⁾	43	644	22.675
Fertilizante de leucena	373	20 ⁽⁵⁾	30	597	22.039

⁽¹⁾Costa (1992), Pereira (2004) e Leal (2006) relatam produtividades, por cultivo, superiores a 10 Mg ha⁻¹; ⁽²⁾Produtividade média, por cultivo, reportada por Calegari (1998); ⁽³⁾Produtividade média anual de quatro anos consecutivos apurada por Espindola (2001); ⁽⁴⁾Produtividade média anual estimada com base em dados de Gómez et al. (1990) e Rey & Ibrahim (1995), na produção de forragem com quatro cortes ano⁻¹; ⁽⁵⁾Costa (1992) relata produtividade de mais de 100 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa verde, com 3 cortes ano⁻¹ – foi considerado 20% desse valor.

Fertilizantes de leguminosas versus Legislação Nacional

De acordo com a Instrução Normativa nº 23 (MAPA, 2005), de 31 de agosto de 2005, que aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, fertilizantes orgânicos são produtos de natureza fundamentalmente orgânica, obtidos por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais, e podem ser divididos nas seguintes categorias:

- a) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- b) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- c) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; e
- d) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

Segundo esta mesma Normativa (MAPA, 2005), fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais devem ser classificados de acordo com as matérias primas utilizadas em sua produção, sendo:

I - Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;

II - Classe “B”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

III - Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

IV - Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Quanto à natureza física, esses fertilizantes classificam-se como produtos sólidos, podendo apresentar as seguintes especificações granulométricas: granulado, pó, farelado, farelado grosso e “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”, quando não atendem às exigências da Tabela 4 (MAPA, 2005).

Tabela 4. Especificações granulométricas de fertilizantes orgânicos⁽¹⁾.

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4mm (ABNT nº 5)	95% mínimo	5% máximo
	1,0mm (ABNT nº 18)	5% máximo	95% mínimo
Pó	2,0mm (ABNT nº 10)	100%	0%
	0,84mm (ABNT nº 20)	70% mínimo	30% máximo
	0,3mm (ABNT nº 50)	50% mínimo	50% máximo
Farelado	3,36mm (ABNT nº 6)	95% mínimo	5% máximo
	0,5mm (ABNT nº 35)	25% mínimo	75% máximo
Farelado Grosso	4,8mm (ABNT nº 4)	100%	0%
	1,0mm (ABNT nº 18)	20% mínimo	80% máximo

⁽¹⁾Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005 (MAPA, 2005).

A Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006, estabelece as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes (MAPA, 2006). A Tabela 5 apresenta as concentrações máximas admitidas para os fertilizantes orgânicos. Devido à natureza biológica do material, e a possibilidade de controle de qualidade em todas as etapas da produção dos fertilizantes de leguminosas, espera-se que os níveis de contaminantes apresentados na Tabela 5 jamais sejam alcançados.

Tabela 5. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos⁽¹⁾.

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	3,00
Chumbo (mg/kg)	150,00
Cromo (mg/kg)	200,00
Mercúrio (mg/kg)	1,00
Níquel (mg/kg)	70,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca

⁽¹⁾Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006 (MAPA, 2006).

Os fertilizantes de leguminosas possuem características químicas, físicas e biológicas que lhes permitem comercialização como fertilizantes orgânicos simples Classe A, podendo ainda servir de matéria-prima para produção de fertilizante orgânico composto, misto ou organomineral e, caso produzidos em sistema orgânico (MAPA, 1999; Brasil, 2003), serem rotulados com o termo “ORGÂNICO” (MAPA, 2004). A especificação granulométrica dos

fertilizantes irá variar conforme qualidade da matéria-prima e o tipo de processamento do material. No entanto, tendo em vista, processamento da biomassa seca das leguminosas em moinho de martelos, equipado com peneira de malha de 3 a 7 mm de diâmetro, espera-se que a granulometria dos fertilizantes fique entre: farelado, farelado grosso ou produto sem especificação granulométrica.

Quanto ao uso desses fertilizantes em agricultura orgânica, não existe nenhuma restrição legal, desde que produzidos na própria unidade de produção orgânica, e quando oriundos de outras propriedades, precisam ser autorizados pela instituição certificadora (MAPA, 1999).

4 CONCLUSÕES

1. A transformação da biomassa aérea de leguminosas em fertilizantes de leguminosas é tecnicamente possível, em pequena ou grande escala, promove redução drástica de seu volume, possibilitando a estocagem de grandes quantidades de adubo verde, em espaços relativamente pequenos.
2. Os fertilizantes das espécies arbóreas, gliricídia e leucena, possuem teores de N e densidades superiores aos dos fertilizantes das espécies herbáceas, com potencial para armazenamento de N, em média, 2,8 vezes superior ao fertilizante de crotalária, 2,2 ao de mucuna cinza e 1,3 ao de arachis.
3. O fertilizante de gliricídia, por apresentar a menor relação lignina/N e baixa relação C/N, é o que possui maior potencial químico para biodisponibilização de N ao solo.
4. Os fertilizantes de leguminosas possuem características químicas, físicas e biológicas que lhes permitem a comercialização como fertilizantes orgânicos simples Classe A, podendo ainda servir de matéria-prima para produção de fertilizante orgânico composto, misto ou organomineral.

CAPÍTULO II

EXPERIMENTOS COM A CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa* L. cv. Vera)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivos avaliar o potencial de uso de dois fertilizantes de leguminosas, um de mucuna cinza e outro de gliricídia, como fontes alternativas de N para produção orgânica de alface (*Lactuca sativa* L. cv. Vera), e a influência das adubações sobre a vida útil pós-colheita da hortaliça, em condições de bancada de laboratório e seus impactos sobre atributos químicos e biológicos do solo. Esses fertilizantes foram empregados em cobertura e comparados com cama de aviário industrial, assegurando-se doses equivalentes de N-total. O desempenho da alface foi aferido por intermédio de parâmetros de crescimento vegetativo (massa fresca e seca, diâmetro e número de folhas por planta) e de conservação na fase de pós-colheita. Detectaram-se diferenças significativas quanto ao teor e acúmulo de N na parte aérea da planta, encontrados mais alto, em decorrência da aplicação do fertilizante de gliricídia, comparativamente às demais adubações de cobertura (fertilizante de mucuna cinza e cama de aviário), que não diferiram entre si. Os fertilizantes de ambas as espécies de leguminosas revelaram-se tão eficazes quanto à cama de aviário com referência à produtividade, ao padrão comercial e período de vida útil pós-colheita das alfaces, além de estimularem a atividade biológica no solo e melhorarem seus índices de fertilidade, indicando potencial para sua utilização em sistemas orgânicos de produção.

Palavras-chave: fertilizantes orgânicos, pós-colheita, atributos de qualidade do solo.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the utilization potential of two fertilizers of legume plants, gray velvet bean and gliricidia, as alternative sources of N for organic production of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Vera), and the influence of soil fertilization on lettuce shelf life at laboratory bench condition, and its impacts on chemical and biological attributes of the soil. These fertilizers had been spread over soil surface and compared to factory poultry-bed manure at equivalent total N doses. The lettuce performance test was surveyed by attributes of vegetative growth (fresh and dry weight, leaf diameter and leaf number per plant) and of conservation in the post harvest phase. Significant differences were observed for N content and N accumulation in aerial plant part being higher due to application of gliricidia fertilizer when compared to other cover application of fertilizers (velvet bean fertilizer and poultry-bed manure), the later without difference among them. Fertilizer of both legume species showed the same efficiency when compared to poultry-bed manure regarding to the productivity, commercial standard and shelf life of lettuce, besides stimulating soil biological activity and improving its indices of fertility, indicating potential for its use in organic production systems.

Key words: organic fertilizers, shelf-life, soil quality attributes.

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das poucas hortaliças consumidas exclusivamente *in natura*, possuindo por isto, alto valor agregado quando produzida sem o emprego de agrotóxicos. O cultivo orgânico desta hortaliça, além de ecologicamente correto, costuma gerar um produto com melhores características organolépticas e de maior vida útil pós-colheita, em comparação aos sistemas convencionais (Mello et al., 2003).

A legislação brasileira define sistema orgânico de produção como “todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente” (Brasil, 2003).

Apesar de um propalado crescimento de mais de 20% ao ano (Ormond et al., 2002), a produção orgânica de alimentos, tem como um dos principais entraves, a pouca disponibilidade de fontes de nitrogênio (N) eficazes, de baixo custo, e admitidas pelas normas técnicas vigentes (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006). Fertilizantes orgânicos, tais como esterco, compostos e tortas têm sido amplamente utilizados como fontes de N, mas são insuficientes para alicerçar e exponenciar a agricultura orgânica mundial (Almeida, 1991; Katouniam, 2001). Adubações na ordem de 70 a 80 Mg ha⁻¹ de esterco de curral curtido ou 15 a 20 Mg ha⁻¹ de esterco de galinha (Malavolta et al., 2002); 30 a 120 Mg ha⁻¹ de composto (Francisco Neto, 2002); 23 Mg ha⁻¹ de cama de aviário (Oliveira et al., 2006), tem sido recomendadas para produção de alface e outras hortaliças.

Como nos sistemas orgânicos de produção o uso de N-sintético é proibido, a adubação verde com leguminosas assume relevância para provisão de N, por aportar de forma ‘natural’ (via fixação biológica de N₂) grandes quantidades desse macronutriente, minimizando a dependência de insumos externos (Espindola et al., 2005). Contudo, apenas uma pequena fração do N contido nas leguminosas, geralmente entre 10 e 30%, tem sido recuperada por culturas anuais, pela adoção das tradicionais tecnologias de adubação verde (Giller & Cadisch, 1995; Peoples et al. 1995; Fillery, 2001; Crews & Peoples, 2005). Campbell (1995), Crews & Peoples (2005) e Espindola et al. (2005) acreditam que a chave para maximização da eficiência da adubação verde está na sincronia entre a provisão de N e a demanda da espécie cultivada.

A conversão da biomassa de leguminosas em fertilizantes de leguminosas é uma estratégia capaz de tornar a adubação verde mais prática e eficiente, pois permite a estocagem de grandes quantidades de adubo verde em espaços relativamente pequenos, a sistematização da produção e seu uso, em quantidades e épocas apropriadas, favorecendo a sincronia/eficiência da provisão de N.

Para testar sua viabilidade técnica na produção orgânica de hortaliças e os impactos dessa tecnologia sobre atributos físicos e químicos do solo foi realizado um experimento de campo com a cultura da alface (grupo crespa, cultivar Vera), conduzida sob manejo orgânico. Neste estudo, a adubação de cobertura com cama de aviário industrial, ainda largamente utilizada na olericultura orgânica nacional, foi comparada com dois fertilizantes de leguminosas, um de mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) e outro de gliricídia (*Gliricidia sepium*), objetivando avaliar o potencial destes fertilizantes como fontes alternativas de N

para sistemas orgânicos de produção de alface, a influência destas adubações sobre a vida útil pós-colheita das alfaces, e seus impactos sobre atributos químicos e biológicos do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Fabricação e Preparo dos Fertilizantes Orgânicos

Foram selecionadas duas leguminosas, mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), de ciclo anual e porte herbáceo e volúvel, e gliricídia (*Gliricidia sepium*), de ciclo perene e porte arbóreo. Essa seleção levou em consideração a elevada adaptação local, rusticidade, produção de biomassa e acúmulo de N na parte aérea. Essas plantas foram cultivadas no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA - latitude 22° 45' S; longitude 43° 40" W; altitude 33 m), situado no Município de Seropédica, RJ.

A mucuna cinza foi semeada em dezembro de 2004, e cortada aos 135 dias do ciclo. A biomassa foi imediatamente transportada para uma casa de vegetação pavimentada, onde ocorreu a desidratação. Em seguida, o material foi triturado em moinho de martelos equipado com peneira de 3 x 13 mm.

O fertilizante de gliricídia foi processado a partir da recepa de árvores com cerca de dois anos de idade. Essas árvores originaram-se do plantio de estacas (1,5 m de comprimento por 5 cm de diâmetro), a intervalos de 1,5 m, constituindo faixas espaçadas de 8 m entre si. Os troncos foram cortados a 0,5 m de altura, com auxílio de moto-serra, e a desidratação teve lugar ao relento sobre lona de polietileno preto. Após a secagem, os galhos foram removidos, e o material remanescente (folíolos e pecíolos) triturado em moinho de facas com abertura de malha de 2 mm de diâmetro. Terminada as operações de moagem, os fertilizantes foram armazenados em sacolas de polietileno.

A cama de aviário foi adquirida de estabelecimento industrial, sendo oriunda de galpão de frangos para abate. O esterco bovino foi procedente de rebanho do próprio SIPA, manejado a pasto, sem praguicidas ou ração balanceada. Antes de serem analisados e utilizados a cama de aviário e o esterco bovino, ambos curtidos, foram peneirados em malha de 6,5 mm e armazenados.

2.2 Análise dos Fertilizantes Orgânicos

As análises laboratoriais incluíram quatro amostras compostas de cada insumo orgânico, as quais depois de secadas por 96 h em estufa com ventilação forçada regulada a 65° C; foram processadas em moinho tipo Wiley por três minutos; transferidas para um moinho de rolo do centro ('moinho de bola'), onde permaneceram por 48 h, e acondicionadas em frascos de acrílico. Estes frascos, antes de serem tampados, permaneceram em estufa a 65° C por 20 h. Os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados após digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). O P em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor; Ca e Mg em plasma; e o K em espectrofotômetro de chama. O N foi determinado em Kjeldahl, após digestão sulfúrica (Bremner & Mulvaney, 1982). O teor de C pelo método da perda por ignição descrito em Kiehl (1985), porém modificado para 4 h em estufa a 105°C, e 2 h em mufla a 550°C.

2.3 Caracterização da Área Experimental

O experimento de campo foi montado em área do SIPA sobre quatro canteiros de 6,5 m de comprimento por 1,0 m de largura, levantados com auxílio de roto-encanteiradora tratorizada. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006), e a

água, 6,1; Al, 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca, 1,5 cmol_c dm⁻³; Mg, 0,9 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich-1), 123,0 mg dm⁻³; K, 69,0 mg dm⁻³; C, 6,0 g kg⁻¹; N, 0,68 g kg⁻¹; argila, 83 g kg⁻¹; areia, 876 g kg⁻¹; e silte, 41 g kg⁻¹ (Embrapa, 1997).

2.4 Delineamento e Características Gerais do Experimento de Campo

O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Como a intenção era de avaliar o potencial dos fertilizantes orgânicos, como fontes de N, foi realizada uma adubação de base com termofosfato e sulfato de potássio (Tabela 1), objetivando-se elevar os teores de macro e micronutrientes (P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn, Cu e Mo) no solo. Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 1 m², espaçadas entre si e extremidades, por 0,25 m; sendo: T1= adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; e T5= T2 + cama de aviário em cobertura. As adubações de base foram realizadas três dias antes do transplante das mudas de alface, incorporando-se os adubos (0,00-0,07 m) com auxílio de um rastelo, e as de cobertura, no 7º e 22º dia a contar do transplante, distribuindo uniformemente os fertilizantes na superfície da parcela. Os fertilizantes utilizados em cada parcela foram previamente pesados em balança digital de precisão (0,1 g), e acondicionados em sacolas de polietileno. As dosagens dos fertilizantes orgânicos foram estipuladas com base na equivalência de N-total fornecido (Tabela 1). Duas capinas manuais foram necessárias, com remoção das plantas infestantes do canteiro. A irrigação foi realizada por meio de microaspersores instalados nos espaços entre as parcelas e nas extremidades dos blocos.

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes, dosagens e nutrientes fornecidos⁽¹⁾.

Fertilizante utilizado	Tratamentos					Dosagens (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes fornecidos (kg ha ⁻¹)			
	T1	T2	T3	T4	T5					
<i>Adubação pré-plantio</i>										
Termofosfato sílico-magnésiano ⁽²⁾	x	x	x	x	x	800	56 de P; 160 de Ca; 56 de Mg			
Sulfato de potássio ⁽³⁾	x	x	x	x	x	100	42 de K; 17 de S			
Esterco bovino		x	x	x	x	13.000	150 de N; 38 de P; 70 de K; 102 de Ca; 41 de Mg			
<i>Adubação de cobertura (total de duas aplicações)</i>										
Fertilizante de mucuna cinza			x			11.640	300 de N; 25 de P; 245 de K; 108 de Ca; 31 de Mg			
Fertilizante de gliricídia				x		7.860	300 de N; 17 de P; 62 de K; 85 de Ca; 38 de Mg			
Cama de aviário industrial					x	10.880	300 de N; 231 de P; 318 de K; 350 de Ca; 64 de Mg			
<i>Composição química dos fertilizantes orgânicos</i>										
Fertilizante orgânico	Umidade-65° C (%)	C:N (adimensional)	C	N	P	K	Ca	Mg		
			----- (g kg ⁻¹) -----							
Esterco bovino	21,5	17	202,2	11,6	2,9	5,4	7,8	3,2		
Fertilizante de mucuna cinza	10,5	17	446,1	25,8	2,2	21,1	9,3	2,7		
Fertilizante de gliricídia	6,6	12	460,2	38,2	2,2	7,9	10,8	4,9		
Cama de aviário industrial	16,5	12	338,2	27,6	21,2	29,3	32,2	5,9		

⁽¹⁾Valores expressos em base úmida. ⁽²⁾Termofosfato sílico-magnésiano: P₂O₅ solúvel em ácido cítrico = 16% ; Ca = 20%; Mg = 7%; Zn = 0,55%; Mn = 0,12%; B = 0,10%; Cu = 0,05%; Mo = 0,006%; ⁽³⁾Sulfato de potássio: K₂O = 50%; S = 17%.

O transplante das mudas de alface ‘Vera’, foi realizado no espaçamento de 0,25 x 0,25 m, em 22 de agosto de 2005. Essas mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido de 200 células, em casa de vegetação, com substrato formulado no próprio SIPA, constituído de subsolo argiloso, esterco bovino curtido e vermicomposto, nas proporções respectivas de 2:1:1 (base volume). As colheitas ocorreram em duas épocas, aos 37 e aos 44 dias após o transplante (DAT). As alfaces foram cortadas rente ao solo, submetidas a uma

pré-limpeza, na qual as folhas baixas, senescentes ou lesionadas, foram descartadas, e a parte aérea remanescente lavada em água corrente.

2.5 Avaliações Fitotécnicas Realizadas na Primeira Colheita

Na primeira colheita (37 DAT), a área útil foi representada pelas quatro plantas centrais de cada parcela, das quais foram avaliadas as seguintes variáveis referentes a parte aérea: massa fresca (determinada em balança digital de precisão (0,1 g), após eliminar o excesso de água sobre as folhagens); massa seca (determinada em balança digital de precisão (0,01 g), após pré-secagem em casa de vegetação por 24 h, seguida de secagem em estufa com ventilação forçada e regulada a 65°C, por cinco dias); diâmetro médio (média de dois diâmetros medidos em cruz, iniciando-se pelo maior diâmetro); número de folhas (folhas com mais de 5 cm de comprimento); e os teores de N, P, K, Ca e Mg na matéria seca (seguindo os procedimentos descritos para os fertilizantes orgânicos, porém em duplicata).

2.6 Avaliação Fitotécnicas e de Pós-Colheita a Partir da Segunda Colheita

Na segunda colheita (44 DAT), apenas os tratamentos cujas alfaces atingiram padrão comercial (T3, T4 e T5) foram considerados, sendo colhidas três plantas por parcela, as quais além da pré-limpeza, receberam ensacamento individualizado, para conferir maior proteção contra danos mecânicos, que poderiam reduzir o tempo de vida útil pós-colheita das alfaces (Chitarra & Chitarra, 2005). Ao todo 36 alfaces foram colhidas, todas sem defeitos como perfurações, manchas ou sintomas de doença, permanecendo em local sombreado até que fossem transportadas para um dos laboratórios da Embrapa Agrobiologia, situado a poucos minutos do SIPA. Neste local, as embalagens foram abertas, iniciando-se as avaliações de massa fresca, diâmetro médio, número de folhas planta⁻¹ e teor de sólidos solúveis (em °Brix). Uma planta de cada parcela foi destinada para avaliação inicial do teor de sólidos solúveis e as outras duas destinadas às avaliações relativas à conservação pós-colheita. Essas alfaces foram colocadas sobre folhas de papel A4, em bancada azulejada, constituindo delineamento de blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições. Considerou-se como nula a perda de massa fresca do corte até a primeira pesagem no laboratório. A segunda pesagem ocorreu 24 h após a colheita, as 11 seguintes a intervalos de 12 em 12 h, e a pesagem final 18 h após a penúltima. Depois de cada pesagem, um giro de 180° era realizado, antes de retornar a alface para folha de papel. O estudo totalizou 174 h, sendo os dados expressos na forma de perda acumulada de massa fresca durante este período. No fim do experimento, novas avaliações de massa fresca, diâmetro médio, número de folhas e teor de sólidos solúveis foram realizadas.

Por ocasião das pesagens, foi avaliada a aparência das alfaces, considerando-se a seguinte escala de padrão comercial: excelente, muito bom, bom, regular, ruim e péssimo.

O teor de sólidos solúveis foi determinado com auxílio de um refratômetro de campo do sumo da nona folha, com mais de 5 cm, contada de dentro para fora. A folha foi retirada, seca em papel toalha, macerada em grau de porcelana, até tomar uma consistência de pasta, a qual foi comprimida manualmente deixando-se cair duas gotas do sumo sobre a lente do refratômetro, procedendo-se a leitura (°Brix).

2.7 Atributos Químicos e Biológicos Avaliados no Solo

As análises no solo foram realizadas a partir de amostras coletadas em duas ocasiões, a uma aos três dias antes da adubação pré-plantio (resultados médios apresentados no Item 2.3), e outra aos 39 DAT. Na primeira, as amostras foram constituídas pela homogeneização de oito sub-amostras (0-0,20 m), coletadas em cada um dos quatro blocos. Sendo determinado em terra fina seca ao ar os teores de C-total, N-total, P, K, Ca e Mg do solo.

Na segunda, além desses atributos químicos, foram quantificados os teores de N: amoniacal (N-NH_4^+), nítrico (N-NO_3^-) e contido na biomassa microbiana do solo (NBM). Também foram determinados os teores de C: lábil (C-lábil), contido na biomassa microbiana (CBM e CBM plus) e evoluído pela respiração basal do solo (RBS). Posteriormente foi determinado o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), e realizado balanços de K, N-total e C-total no solo. Nessas análises as amostras foram obtidas a partir da homogeneização de 20 sub-amostras (0-0,10 m), coletadas com sonda de 2,5 cm de diâmetro, na área central (0,5 x 0,5 m) de cada parcela. No laboratório estas amostras foram peneiradas (malha de 2 mm) e re-homogeneizadas, iniciando-se, ainda em solo úmido, as análises de CBM, NBM, RBS, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , e em terra fina seca ao ar, as análises de fertilidade, C-total, N-total e C-lábil.

2.7.1 Métodos para quantificação da biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana foi estimada pelo método de fumigação-extração proposto por Brookes et al. (1985), Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988), com relação solo:extrator 1:2,5 e fumigação direta das amostras com 1 ml de clorofórmio isento de etanol. O conteúdo de C dos extratos fumigados e não-fumigados das amostras foram quantificados pelo método Walkley & Black (1934), com adoção do fator de correção 0,33 (Sparling & West, 1988), e o conteúdo de N por Bremner & Mulvaney (1982), com adoção do fator de correção 0,54 (Brookes et al., 1985), conforme procedimentos descritos a seguir:

Preparo dos extratos fumigados e não-fumigados

As análises foram realizadas em triplicata, para isso sete sub-amostras de 20 g cada (três fumigadas, três não-fumigadas e uma para obtenção da massa seca em estufa a 105°C), foram devidamente pesadas e acondicionadas em frascos de vidro de 100 mL, com boca larga. As amostras fumigadas foram obtidas a partir aplicação de 1 mL de CHCl_3 (clorofórmio) livre de álcool, diretamente sobre a terra de cada frasco, sendo imediatamente tampados e mantidos em local escuro por 24 horas. Decorrido este tempo, os frascos foram destampados em capela de exaustão, onde permaneceram até que todo o clorofórmio fosse eliminado (Brookes et al., 1985; Witt et al., 2000).

Os extratos foram obtidos pela adição de 50 mL de K_2SO_4 (sulfato de potássio) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, com pH corrigido entre 6,5 e 6,8; agitação em agitador orbital a 220 RPM por 30 min; decantação por 30 min; transferência do o líquido para um filtro de papel faixa preta acoplado a um funil e um recipiente receptor do extrato, que foi tampado e mantidos em geladeira por menos de cinco dias.

Determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM)

Uma alíquota de 8 mL do extrato foi transferido para um erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 2 mL de solução $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (dicromato de potássio); 5 mL de H_3PO_4 (ácido orto-fosfórico) concentrado; e 10 mL de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado. Após resfriamento, eram adicionados ± 70 ml de água deionizada, e após resfriamento, 3-4 gotas de difenilamina ($((\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH})$, 1% (m/v) em ácido sulfúrico), procedendo-se titulação com solução $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ de sulfato ferroso amoniacal

(Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O) padronizada, com viragem do púrpuro para o verde. O carbono extraído das amostras fumigadas (C_f) e não-fumigadas (C_{nf}), e o CBM foram calculados pelas Equações I e II, respectivamente. Foram realizadas quatro repetições em branco (sem o extrato).

$$C_f \text{ ou } C_{nf} \text{ (mg C kg solo}^{-1}\text{)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{MS \cdot V_2} \quad (\text{I})$$

Onde: V_b (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco; V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; N = normalidade exata do sulfato ferroso amoniacal; V₁ (mL) = volume do extrator utilizado; V₂ (mL) = volume de extrato utilizado na titulação; 0,003 = meq do carbono; MS (g) = massa equivalente de solo seco a 105°C.

$$\text{CBM} = (C_f - C_{nf})/0,33 \quad (\text{II})$$

Onde: 0,33 é o valor do fator de correção proposto por Sparling & West (1988).

Determinação do carbono da biomassa microbiana ‘plus’ (CBM plus)

O CBM plus foi calculado pela divisão do C_f pelo fator 0,33, de Sparling & West (1988), conforme Costantini et al. (2006) – Equação III:

$$\text{CBM plus (mg C kg solo}^{-1}\text{)} = C_f/0,33 \quad (\text{III})$$

Determinação do nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

Foi realizado após digestão sulfúrica (2h em bloco digestor a 350°C) e destilação em Kjeldal (Kjeltec Auto Analyser®), a partir alíquotas de 10 mL do extrato (modificado de Bremner & Mulvaney, 1982). O N extraído das amostras fumigadas (N_f) e não-fumigadas (N_{nf}), e o NBM foram calculados pelas Equações IV e V, respectivamente.

$$N_f \text{ ou } N_{nf} \text{ (mg N kg solo}^{-1}\text{)} = \frac{V_n \cdot N \cdot 0,014 \cdot V_1}{V_2 \cdot MS} \quad (\text{IV})$$

Onde: V_n (mL) = volume gasto na titulação da amostra; N = normalidade exata do ácido; V₁ (mL) = volume do extrator utilizado; V₂ (mL) = volume da alíquota utilizada para quantificação do N; 0,014 = meq do nitrogênio; MS (g) = massa do solo seco a 105°C.

$$\text{NBM (mg N kg solo}^{-1}\text{)} = (N_f - N_{nf})/0,54 \quad (\text{V})$$

Onde: 0,54 é o valor do fator de correção proposto por Brookes et al. (1985).

2.7.2 Determinação da respiração basal do solo (RBS)

A respiração microbiana seguiu o procedimento descrito por Jenkinson & Powlson (1976). Para cada amostra foram retiradas duas sub-amostras de 50 g de solo (base úmida), que foram incubadas por cinco dias em frascos de vidro de três litros, juntamente com frascos contendo 10 mL NaOH (hidróxido de sódio) 1 mol L⁻¹, para captura do C-CO₂ respirado. Foram também incubadas quatro provas em branco, que contiveram apenas o frasco a solução de hidróxido de sódio. Decorrido o período de incubação, 2 mL de BaCl₂ 10% foram adicionados aos frascos com hidróxido de sódio, para precipitação do CO₂ na forma de

carbonato, e imediatamente tampados. O excesso de BaCl₂, foi titulado com solução de HCl (ácido clorídrico) 0,5 mol L⁻¹ padronizada, usando-se como indicador 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) em etanol, com viragem do rosa para o rosa claro/branco. A RBS foi calculada pela Equação VI.

$$\text{RBS (mg C-CO}_2 \text{ kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}) = ((V_b - V_a) \cdot N \cdot 6 \cdot 1000) / \text{MS} / T \quad (\text{VI})$$

Onde: V_b (mL) = volume de HCl gasto na titulação do branco; V_a (mL) = volume gasto na titulação das amostras; N = normalidade exata do HCl; MS (g) = massa seca da amostra a 105°C; T (h) = tempo de incubação.

2.7.3 Determinação do quociente metabólico (qCO₂)

A determinação do quociente metabólico (qCO₂) seguiu o procedimento descrito por Anderson & Domsch (1990), obtido pela razão entre o C respirado por unidade de C microbiano, em um determinado intervalo de tempo. Equação VII:

$$q\text{CO}_2 \text{ (mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ CBM h}^{-1}) = \text{RBS} \cdot 1000 / \text{CBM} \quad (\text{VII})$$

2.7.4 Determinação do carbono lábil (C-lábil)

O C-lábil (Sparling et al., 1998) foi obtido por método modificado, a partir de amostras de 3 g de terra fina seca ao ar com 30 mL de água, alocadas em recipientes de vidro temperado, tampados com papel alumínio, que foram mantidos em auto-clave a 100°C por 1 h. Depois de resfriados, alíquotas de 8 mL da solução aquosa foram retiradas com auxílio de uma pipeta automática, e tituladas conforme procedimento descritos para C_f e C_{nf}. O valor de C-lábil foi calculado pela Equação VIII.

$$\text{C-lábil (mg C kg solo}^{-1}) = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{V_2 \cdot \text{MS}} \quad (\text{VIII})$$

Onde: V_b (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco; V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; N = normalidade exata do sulfato ferroso amoniacal; 0,003 = meq do carbono; V₁ (mL) = volume do extrator utilizado; V₂ (mL) = volume de extrato utilizado na titulação; MS (g) = massa da terra fina seca ao ar das amostras.

2.7.5 Teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻

Os teores de N-amônio e N-nitrato foram determinados a partir do solo úmido, conforme procedimentos descritos por Alves et al. (1999).

2.7.6 Fertilidade, C-total e N-total

As análises de fertilidade foram realizadas em terra fina seca ao ar, conforme procedimentos descritos em Embrapa (1997). C-total e N-total conforme Tedesco et al. (1995) e Bremner & Mulvaney (1982), respectivamente.

2.7.6.1 Balanço de K, N-total e C-total no solo

Para elaboração do balanço os valores obtidos nas análises foram convertidos para kg ha⁻¹, considerando-se a densidade do solo, em cada época. Nos balanços de N-total e K foram calculadas as 'Entradas' dos macroelementos, quantidade fornecida pelas adubações de pré-plantio e cobertura, a 'Exportação' (apenas para N-total e K), quantidade do elemento acumulado na parte aérea da alfaca (massa seca x teor do nutriente na matéria seca),

‘Eficiência dos tratamentos’, relação entre ‘Exportação’ e ‘Entradas’ (ET= nutriente exportado x 100/entrada do nutriente), a ‘Eficiência dos fertilizantes orgânicos’ (EFO), equação (IX), ‘Eficiência das adubações de cobertura’ (EAC), equação (X) e ‘Perdas’ de N e K, pelas Equações XI e XII, respectivamente. Foi estimado o ‘Percentual de Perdas’ (%Perdas), dividindo-se ‘Perdas’ vezes 100 pela ‘Entrada’ do elemento, e o ‘Balanço’ foi calculado pela subtração da quantidade final de cada elemento no solo (39 DAT) pela quantidade inicial (-6 DAT), e seu percentual relativo (%), dividindo-se ‘Balanço’ vezes 100 pela ‘Entrada’. Para C foram calculadas ‘Entradas’, ‘Perdas’ (Equação XIII), ‘Percentual de Perdas’ e ‘Balanço’.

$$EFO = \frac{(\text{nutriente exportado no tratamento} - \text{nutriente exportado no controle}) \times 100}{(\text{entrada do nutriente no tratamento} - \text{entrada do nutriente no controle})} \quad (\text{IX})$$

$$EAC = \frac{(\text{nutriente exportado no tratamento} - \text{nutriente exportado em T2}) \times 100}{(\text{entrada do nutriente no tratamento} - \text{entrada do nutriente em T2})} \quad (\text{X})$$

$$\text{Perdas de N} = N_{\text{final (solo)}} - N_{\text{inicial (solo)}} - N_{\text{entrada}} + N_{\text{exportado}} \quad (\text{XI})$$

$$\text{Perdas de K} = K_{\text{final (solo)}} - K_{\text{inicial (solo)}} - K_{\text{entrada}} + K_{\text{exportado}} \quad (\text{XII})$$

$$\text{Perdas de C} = C_{\text{final (solo)}} - C_{\text{inicial (solo)}} - C_{\text{entrada}} \quad (\text{XIII})$$

2.8 Análises Estatísticas

Depois de verificado o atendimento às pressuposições de normalidade e homogeneidade da variância dos erros, as médias das variáveis foram submetidas à análise de variância ($p < 0,05$), seguida de análise de regressão, com respeito à perda acumulada de massa fresca em pós-colheita, recorrendo-se ao teste de Scott-Knott, ao nível de probabilidade de 5%, para comparação entre médias das demais variáveis. Foi realizada uma matriz de correlação, considerando atributos de desenvolvimento vegetativo e teores de macronutrientes na matéria seca da parte aérea das alfaces da primeira colheita. As análises foram realizadas nos softwares *Microsoft® Excel*; *SAEG®*, da Universidade Federal de Viçosa; e *SISVAR®*, da Universidade Federal de Lavras, sendo adotado o modelo de parcelas subdivididas no tempo, quando as avaliações incidiam sobre a mesma parcela em épocas diferentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Adubos e Adubações

Na Tabela 1 constam os resultados das análises químicas dos fertilizantes orgânicos (esterco bovino, cama de aviário e os fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia), e a composição dos adubos minerais (termofosfato sílico-magnésiano e sulfato de potássio), conforme indicação do fabricante. Constam, também, as dosagens de cada um, aplicadas por tratamento, e o que representam em termos do fornecimento de macronutrientes para cultura da alface. É relevante o fato de que foi necessário menos de 8 Mg ha⁻¹ do fertilizante de gliricídia, contra ao redor de 11 Mg ha⁻¹ dos outros dois fertilizantes orgânicos utilizados em cobertura para veicular os mesmos 300 kg ha⁻¹ de N. No entanto, quanto aos demais macronutrientes, nota-se que a cama de aviário é significativamente mais rica do que os fertilizantes de leguminosas.

3.2 Avaliações na Primeira Colheita

As análises de variâncias revelaram, para todas as variáveis analisadas na primeira colheita (37 DAT), efeito de tratamento altamente significativo ($p < 0,0001$). Verificou-se que as adubações de cobertura (T3, T4 e T5) contribuíram marcadamente para melhoria da qualidade das alfaces, proporcionando ganhos em massa fresca, massa seca, diâmetro médio da parte aérea e de número de folhas planta⁻¹ (Figura 1 (a), (b), (c) e (d), respectivamente).

Essas adubações colaboraram efetivamente para a disponibilidade de formas absorvíveis de N no solo, que ficou evidenciado pela maior concentração e acúmulo de N na parte aérea da alface dos tratamentos T3, T4 e T5 (Figura 1 (e) e (f), respectivamente). Nesse sentido, o fertilizante de gliricídia (T4), sendo superior em termos de provisão de N, foi o que acarretou os teores e acúmulos de N mais elevados nos tecidos da alface. Plantas tratadas com fertilizante de gliricídia apresentaram um acúmulo de N 15% superior ao fertilizante de mucuna cinza (T3) e 31% as tratadas com cama de aviário (T5). Em relação aos tratamentos que não receberam adubação de cobertura, essas diferenças foram ainda maiores, 211% em relação a T2, que recebeu apenas esterco de gado no pré-plantio, e 311% em relação a T1, tratamento controle, que não recebeu nenhuma fonte nitrogenada. Esse maior acúmulo de N em T4 se refletiu com semelhante magnitude sobre a produção de massa fresca, que apresentou diferenças na ordem de 350%, 231%, 20% e 25% em relação a T1, T2, T3 e T5, respectivamente.

Os teores médios de N nas alfaces tratadas com fertilizantes de gliricídia (48,0 g kg⁻¹) e com o de mucuna cinza (42,96 g kg⁻¹) mostraram-se respectivamente, superiores e semelhantes, aos da adubação com cama de aviário (44,24 g kg⁻¹) (Figura 1 (e)), e àqueles encontrados por Turazi et al. (2006), 44,1 g kg⁻¹, e Oliveira et al. (2006), 43,0 g kg⁻¹, que também trabalharam com cultivares do grupo crespa, porém adubadas com quantidades muito superiores de cama de aviário, 22 e 28 Mg ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados consubstanciam o potencial dos fertilizantes de leguminosas como fontes de N à cultura da alface.

A adubação orgânica exclusiva com esterco bovino (T2) não se mostrou efetiva quanto as variáveis fitotécnicas avaliadas, pois proporcionou ganhos significativos em relação ao controle (T1), apenas quanto ao diâmetro médio (Figura 1 (b)) e teor de P na matéria seca da parte aérea da alface (Tabela 2). A baixa eficiência da adubação com esterco bovino, também foi observada por Turazi et al. (2006).

nenhuma anomalia fisiológica associada à deficiência desse elemento, como a queima marginal das folhas (Filgueira, 2003).

Tabela 2. Teores médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de alface (cv.Vera), conduzida sob manejo orgânico, aos 37 dias após o transplântio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas⁽¹⁾.

Tratamentos ⁽²⁾	N	P	K	Ca	Mg
	----- (g kg ⁻¹) -----				
T1	32,4c	6,4c	78,0c	10,4a	3,1b
T2	34,0c	7,6b	82,5c	9,4b	3,1b
T3	44,2b	9,7a	96,9a	8,3c	3,3b
T4	48,0a	9,4a	89,5b	10,3a	5,1a
T5	43,0b	9,6a	100,4a	7,7c	3,1b
CV (%)	5,6	5,6	4,9	5,7	9,2

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾T1= adubação pré-plantio com termofosfato sílico-magnésiano + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura.

Por outro lado, K apresentou-se elevado em todos os tratamentos, especialmente nos que receberam fertilizante de mucuna cinza e cama de aviário. As adubações de cada um desses tratamentos aportaram mais que o dobro do K aportado nos demais tratamentos (Tabela 1). Segundo Diem & Godbold (1993), níveis elevados de K em solução favorecem ao acúmulo de K em tecido foliar, mas promove decréscimo aos teores de Ca e Mg neste tecido.

A matriz de correlação (Tabela 3) mostra que o teor de Ca na alface correlacionou-se negativamente ($p < 0,001$) com os teores de K na parte aérea ($r = -0,71$) e no solo ($r = -0,89$), corroborando com Diem & Godbold (1993). No entanto, não foi constatada correlação significativa entre K e Mg ($p = 0,4236$). Com exceção das alfaces tratadas com fertilizante de gliricídia, que apresentaram teor médio de Mg elevado (Tabela 2), o teor de Mg nas alfaces ficou dentro das faixas encontradas por Ricci et al. (1995), 2,9-3,9 g kg⁻¹; Sandri et al. (2006), 2,5-3,5 g kg⁻¹; e Turazi et al. (2006), 3,1-3,8 g kg⁻¹.

Tabela 3. Valor dos coeficientes de correlação (r) entre os teores de Ca e Mg na matéria seca da parte aérea da alface e os teores de N, P, K, Ca e Mg na planta e no solo.

Variáveis	Ca-alface	Mg-alface
N-alface	-0,23 ^{ns}	0,63 ^{**}
P-alface	-0,49 [*]	0,33 ^{ns}
K-alface	-0,71 ^{***}	-0,05 ^{ns}
Ca-alface	1,00 ^{***}	0,52 ^{**}
Mg-alface	0,52 ^{**}	1,00 ^{***}
Ca-solo	-0,23 ^{ns}	0,44 [*]
Mg-solo	-0,14 ^{ns}	0,34 ^{ns}
P-solo	-0,45 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
K-solo	-0,89 ^{***}	-0,33 ^{ns}
N-NH ₄ ⁺ -solo	0,09 ^{ns}	0,39 [*]
N-NO ₃ ⁻ -solo	-0,21 ^{ns}	0,67 ^{***}
N-total-solo	-0,4 ^{ns}	0,35 ^{ns}

^{ns}Não-significativo. *, ** e *** Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t de Student, respectivamente.

Apesar de terem sido apuradas correlações significativas ($p < 0,01$) entre os teores de Mg na planta e N-NO₃⁻ ($r = 0,67$) no solo e Mg e N na planta ($r = 0,63$), a má distribuição dos

pontos em torno das retas mostra que esses valores foram tendenciosos (Figura 2 (a) e (b), respectivamente), devido à discrepância dos valores de N-NO_3^- no solo e Mg nas alfices no tratamento com fertilizante de gliricídia (T4), diferente das correlações entre os teores de Ca na planta e os teores de K na planta e no solo, que apresentaram maior agrupamento dos pontos em torno das retas (Figura 3 (a) e (b), respectivamente).

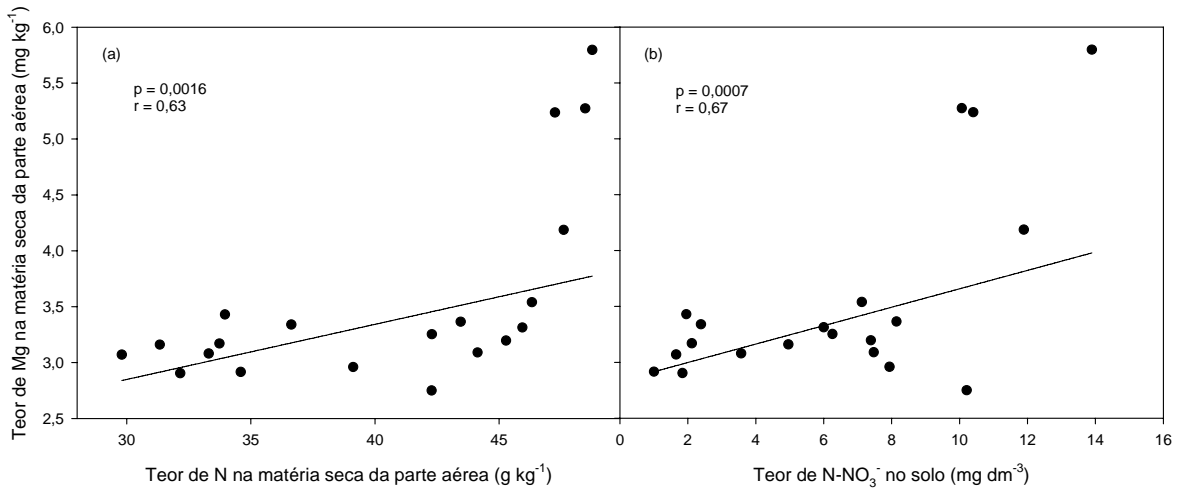


Figura 2. Correlações entre o teor de Mg na matéria seca da parte aérea da alfice e os teores de N-NO_3^- no solo, aos 39 dias após o transplântio (DAT), e de N na matéria seca da parte aérea, aos 37 DAT.

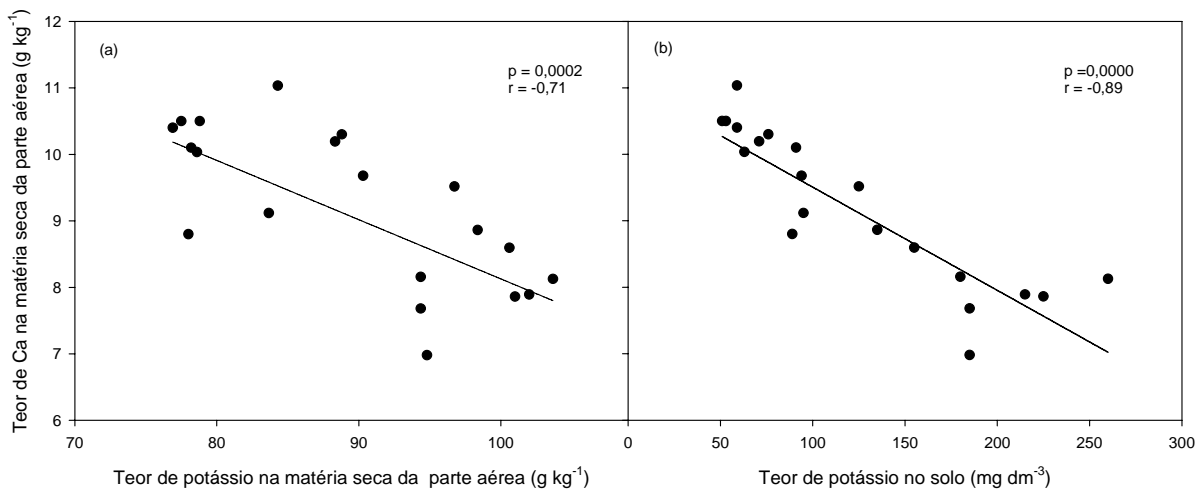


Figura 3. Correlações entre o teor de Ca na matéria seca da parte aérea da alfice e os teores de K na matéria seca da parte aérea, aos 37 dias após o transplântio (DAT), e no solo, aos 39 DAT.

3.2 Avaliações a Partir da Segunda Colheita

Na segunda colheita (44 DAT), as plantas de T3, T4 e T5, exibiam excelente padrão de comercialização: coloração esverdeada, turgidez, vivacidade e massa fresca variando entre 198 e 322 g, ausência de pendoamento, doenças e anomalias nutricionais. Em contrapartida, as alfaces dos outros dois tratamentos apresentavam-se amareladas e pequenas, não sendo por isso incluídas nas avaliações. Assim como na primeira colheita, os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram entre si, quanto as variáveis ligadas à produção: massa fresca ($p=0,2329$), diâmetro médio ($p=0,0698$) e número de folhas ($p=0,7823$). No entanto, quando as datas de colheita foram contrastadas, verificou-se que as plantas não haviam atingido seu máximo desenvolvimento, pois os valores dessas variáveis aumentaram significativamente ($p<0,05$) (Figura 4). A produtividade média passou de aproximadamente 32 Mg ha⁻¹ (aos 37 DAT) para 40 Mg ha⁻¹ (aos 44 DAT), significando um incremento da ordem de 24%.

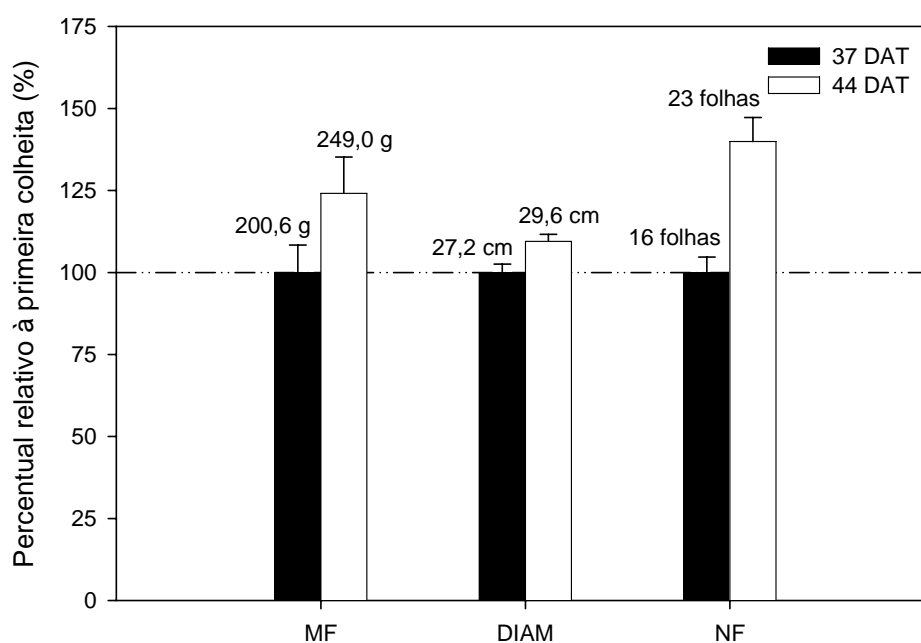
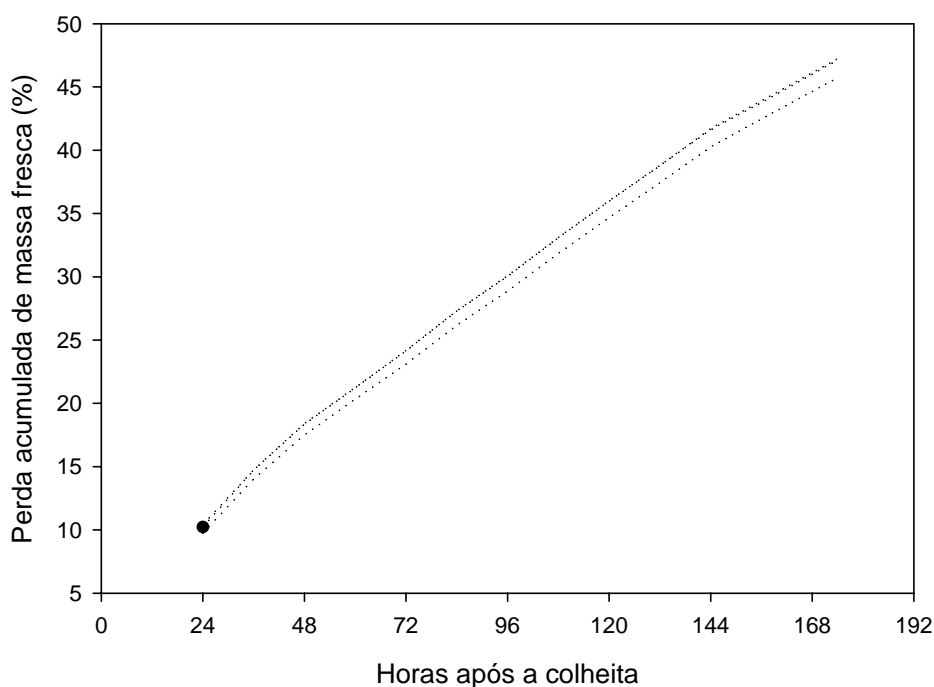


Figura 4. Percentual médio relativo de massa fresca (MF), diâmetro médio (DIAM) e número de folhas planta⁻¹ (NF) da parte aérea de alface (cv. Vera), conduzida sob manejo orgânico, e colhida aos 37 e 44 dias do transplantio. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média. Números sobre as barras representam à média entre três tratamentos, T3, T4 e T5, com diferentes adubações de cobertura, fertilizante de mucuna cinza, fertilizante de gliricídia e cama de aviário, respectivamente. Não foi detectada diferença estatística entre os tratamentos ($p>0,05$), mas diferenças significativas ($p<0,05$) foram observadas, entre as épocas de colheita, para todas as variáveis analisadas.

Segundo Filgueira (2003), a colheita da alface deve ser realizada logo que ela atinja o máximo desenvolvimento, porém apresentando folhas ainda tenras, com bom sabor e sem nenhum sinal de pendoamento. No presente estudo a colheita aos 44 DAT foi mais apropriada do que aos 37 DAT, desde que asseguradas as adubações de cobertura. Entretanto é oportuno assinalar que, pelo menos no Mercado do Grande Rio, tem-se notado certa preferência pela alface não muito grande, embora isso possa contrariar o interesse de agricultores que comercializam seu produto nos tradicionais 'pregadinhos', cujas dimensões são padronizadas. Em adendo, trabalho realizado por Poulsen et al. (1994) com duas cultivares de alface

americana produzidas sob diferentes níveis de adubação com N mineral (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N), em diferentes épocas de cultivo e diferentes idades de colheita, comprovaram que a idade da planta é o fator que mais influi na perda de massa fresca durante sua conservação pós-colheita, seguida de época de cultivo, cultivar e dose de nitrogênio, sendo que este último praticamente não apresenta efeito sobre a perda de massa fresca da planta, concluindo que plantas jovens são mais suscetíveis à perda de água do que plantas adultas, mesmo que tenham alcançado padrão comercial adequado.

Durante o período de avaliação pós-colheita a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, registradas por um termohigrógrafo instalado sobre a bancada, variaram a maior parte do tempo, entre 24 e 25°C e entre 76 e 80%, respectivamente (Anexo B). As alfaces adubadas com mucuna cinza, gliricídia e com cama de aviário apresentaram curvas semelhantes de perda de massa fresca ($p=0,312$; Figura 5). As maiores perdas ocorreram nas primeiras horas após a colheita, quando o conteúdo de água é mais alto e retido com menos força.



comercialização decresceu ao longo do tempo, não sendo observada diferenças entre os tratamentos. Foi classificado como excelente, entre 0-24 h após a colheita; muito bom, de 36-48 h; bom, de 60-72 h; regular de 84-108 h, ruim as 120 h e péssima de 132-174 h (Anexo C). Apesar da subjetividade da classificação, pode-se afirmar que as alfaces poderiam ser facilmente comercializadas com até 48 h depois de colhidas. É provável que esse tempo fosse estendido, caso fossem utilizadas embalagens microperfuradas, que reduzem as perdas por transpiração, visto que a perda de turgescência foi a principal causa para o decréscimo da qualidade das afaces.

Massa fresca (MF), diâmetro médio (DIAM) e teor de sólidos solúveis (TSS) no 1º e 7º dia, seguiram a mesma tendência da perda acumulada de massa fresca, apresentando diferenças significativas apenas quanto às datas de avaliação ($p < 0,001$) (Figura 6).

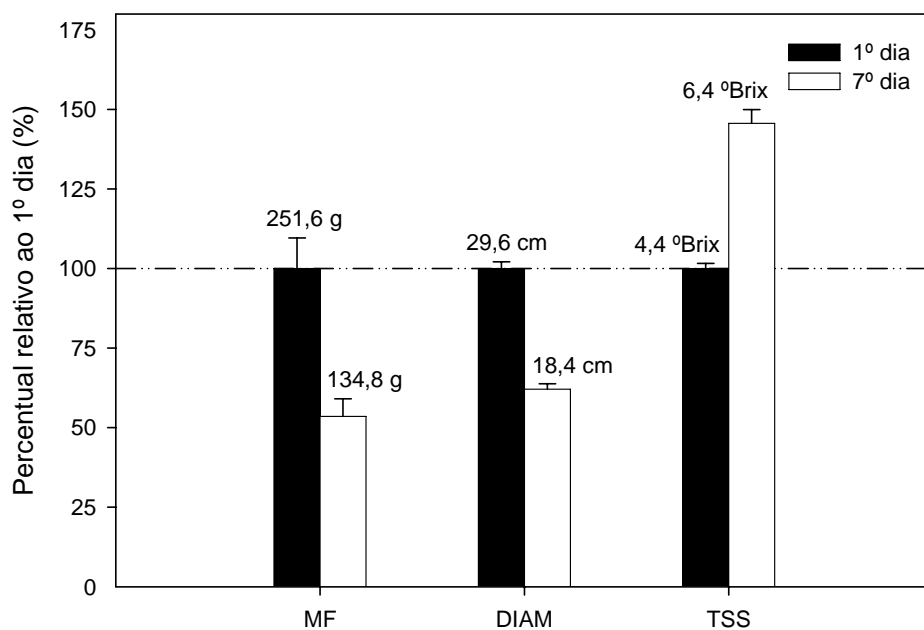


Figura 6. Percentual médio relativo de massa fresca (MF), diâmetro médio (DIAM) e teor de

3.3 Avaliação dos Atributos Químicos e Biológicos do Solo

A Figura 7 apresenta os resultados das análises de P, K, Ca e Mg no solo aos 39 DAT, em função dos tratamentos adotados. Mostra também o teor desses nutrientes no solo antes da montagem do experimento (-6 DAT). Verificou-se aumento significativo de P, Ca e Mg, em todos os tratamentos. Isso ocorreu devido à adubação com termofosfato sílico-magnésiano, em pré-plantio, que aportou quantidades consideráveis desses elementos (Tabela 1). É relevante ressaltar que as adubações de cobertura (T3, T4 e T5) foram realizadas com referencia no teor de N-total fornecido à cultura, sendo considerada nos cálculos o aporte dos outros nutrientes. Nesse sentido, a adubação com cama de aviário, por ser mais rica em minerais, forneceu maiores quantidades de P, K, Ca e Mg ao solo, e por isso, eram esperados aumentos significativamente superiores para esses elementos em T5. No entanto, esses aumentos na fertilidade do solo só foram verificados para P e K (Figura 7 (a) e (b)). Apesar do tratamento com gliricídia (T4) ter aportado quantidade de Ca comparável ao do tratamento com mucuna cinza (T3) e cerca de quatro vezes menos que a cama de aviário (T5), o teor de Ca no solo em T4 foi estatisticamente igual a este, e superior aos demais tratamentos (Figura 7 (c)).

A adubação orgânica exclusiva com esterco bovino (T2), mostrou efeito significativo em relação ao controle somente quanto ao teor de Mg no solo, que foi comparável aos dos tratamentos que além do esterco em pré-plantio, receberam adubação de cobertura (Figura 7 (d)).

Quanto ao teor de K, aumentos significativos em relação à linha de base só foram observados nos tratamentos que receberam fertilizante de mucuna cinza (T3) e cama de aviário (T5) (Figura 7 (c)). No entanto, dentre os tratamentos que receberam adubação de cobertura, o com gliricídia foi o mais eficiente, sendo também o que obteve menores perdas de K (Tabela 4). Em regra geral, quanto maior a entrada de K, maior a amplitude das perdas (em kg ha^{-1}). No entanto, o percentual de perdas deste elemento não diferiu entre os tratamentos, ou seja, em média 46% do K aplicado foram removidos da camada de solo avaliada (0-0,1 m). Acredita-se que a maior parte desse mineral foi lixiviada para camadas sub-superficiais, tendo em vista a textura arenosa e o baixo conteúdo de C do solo, características que pressupõem a baixa capacidade de retenção de cátions. O restante pode ter sido exportado por plantas espontâneas, pela raiz da alfaca ou por erosão, haja vista que a quantidade de K exportado pela parte aérea não foi considerada como perda e o K não é perdido na forma de gás. Conforme o esperado, o balanço de K no sistema foi mais favorável para os tratamentos que tiveram as maiores entradas de K (T3 e T5).

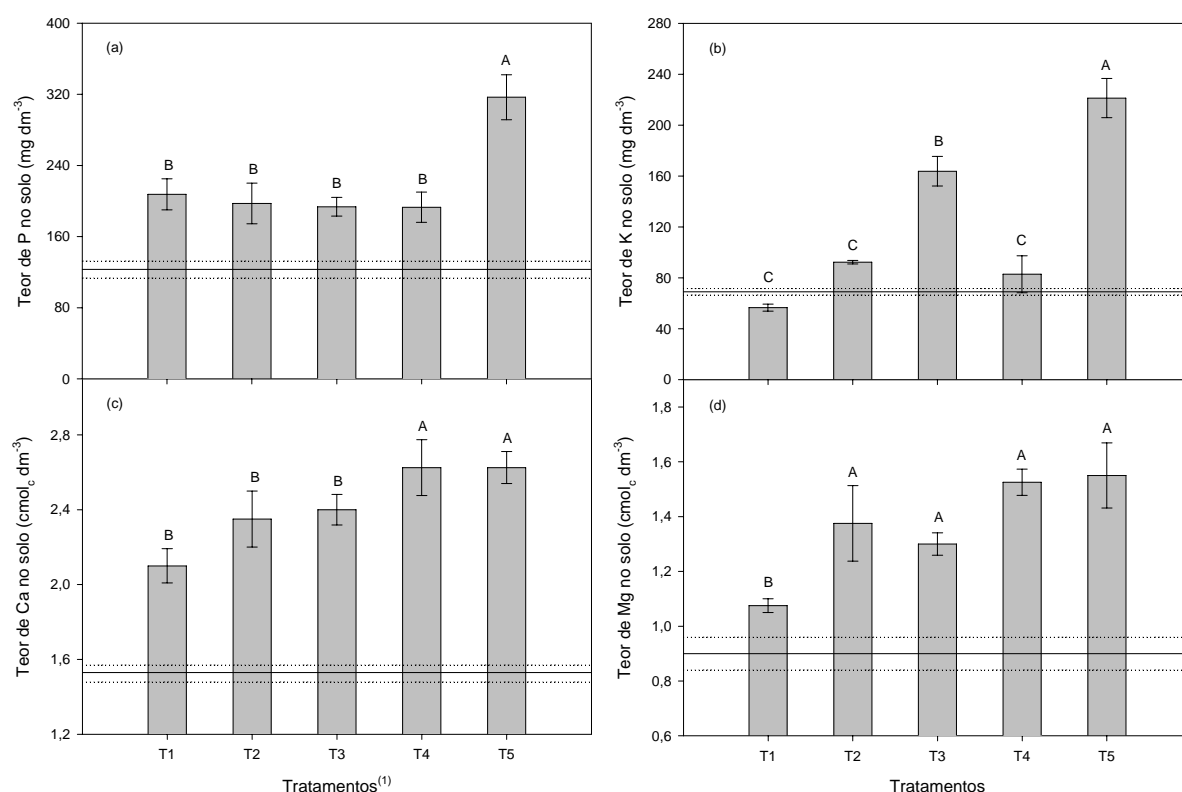


Figura 7. Teores de P (a), K (b), Ca (c) e Mg (d) no solo (0-0,1m) aos 39 dias após o transplântio das mudas de alface. Barras sobre as colunas indicam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Linha sólida (linha de base) representa o cenário inicial da fertilidade do solo três dias antes da adubação pré-plantio, linhas pontilhadas representam os limites do erro padrão da linha de base. ⁽¹⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura.

Tabela 4. Balanço de K no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplântio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas⁽¹⁾.

Tratamentos ⁽²⁾	Entradas (kg ha ⁻¹)	Exportado pela parte aérea				Perdas		Balanço	
		(kg ha ⁻¹)	ET ⁽³⁾ (%)	EFO ⁽⁴⁾ (%)	EAC ⁽⁵⁾ (%)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)
T1	41,5	29,8b	71,9a	-	-	-24,2a	-58,3	-12,5c	-30,1b
T2	111,6	40,2b	36,0c	9,3b	-	-48,1a	-43,1	23,3c	20,8a
T3	356,7	96,6a	27,1c	18,7b	23,0b	-165,3b	-46,4	94,8b	26,6a
T4	173,8	95,2a	54,7b	37,6a	88,3a	-64,9a	-37,3	13,8c	7,9a
T5	429,9	90,4a	21,0c	14,1b	15,8b	-187,2b	-43,5	152,3a	35,4a
<i>p</i>	-	0,0000	0,0000	0,0066	0,0012	0,0000	0,5659	0,0000	0,0000

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura. ⁽³⁾ET = eficiência do tratamento. ⁽⁴⁾EFO = eficiência dos fertilizantes orgânicos. ⁽⁵⁾EAC = eficiência da adubação de cobertura.

A Figura 8 apresenta os resultados das análises de $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, NBM e N-total no solo aos 39 DAT, em função dos tratamentos utilizados. Apresenta também o teor inicial de N-total no solo antes da montagem do experimento (Figura 8 (d)). Verificou-se que a adubação com esterco (T2) teve baixa colaboração para o aumento dos teores de N do solo, pois não diferiu do controle (T1) para nenhuma das formas de N avaliadas.

As adubações de cobertura (T3, T4 e T5) contribuíram marcadamente para a elevação dos teores de $N-NO_3^-$, NBM e N-total no solo (Figura (b), (c) e (d), respectivamente). No entanto, o mesmo comportamento não pôde ser observado para $N-NH_4^+$, que não diferiu entre os tratamentos (Figura 8 (a)). A Figura 8 (b) mostra que o fertilizante de gliricídia contribuiu de forma mais significativa para o aumento dos teores de $N-NO_3^-$ no solo, tendência similar as observadas para teor e acúmulo de N na parte aérea da alface (Figura 1 (e) e (f)) e pela quantidade de N exportada pela cultura (Tabela 5).

Verificou-se que o nitrogênio contido na biomassa microbiana praticamente dobrou com o advento das adubações de cobertura. Em média 80 kg ha^{-1} de N ficou retido na biomassa microbiana desses tratamentos, contra 48 kg ha^{-1} de N nos tratamentos que não receberam esse tipo de adubação (T1 e T2). Supondo que o 'excesso' de NBM, irá decair até o nível médio apurado entre T1 e T2, liberando formas absorvíveis de N no solo, pode-se dizer que 32 kg ha^{-1} de N seriam disponibilizados ao solo nos tratamentos T3, T4 e T5. Essa quantia, somada a quantidade média de N-mineral ($NO_3^- + N-NH_4^+$) no solo desses tratamentos aos 39 DAT (25 kg ha^{-1}), representaria um montante de 57 kg ha^{-1} de N; quantidade superior às exportadas pela parte aérea da cultura (Tabela 5). Somado a isso, verificou-se que as adubações de cobertura promoveram balanço de N extremamente positivo. Cerca de 300 kg ha^{-1} do N aplicado permaneceu no solo. Certamente, esses aumentos nas concentrações de N no solo colaborariam de forma significativa para o desenvolvimento de uma cultura subsequente, dispensando, ou pelo menos minimizando, a necessidade de adubação nitrogenada.

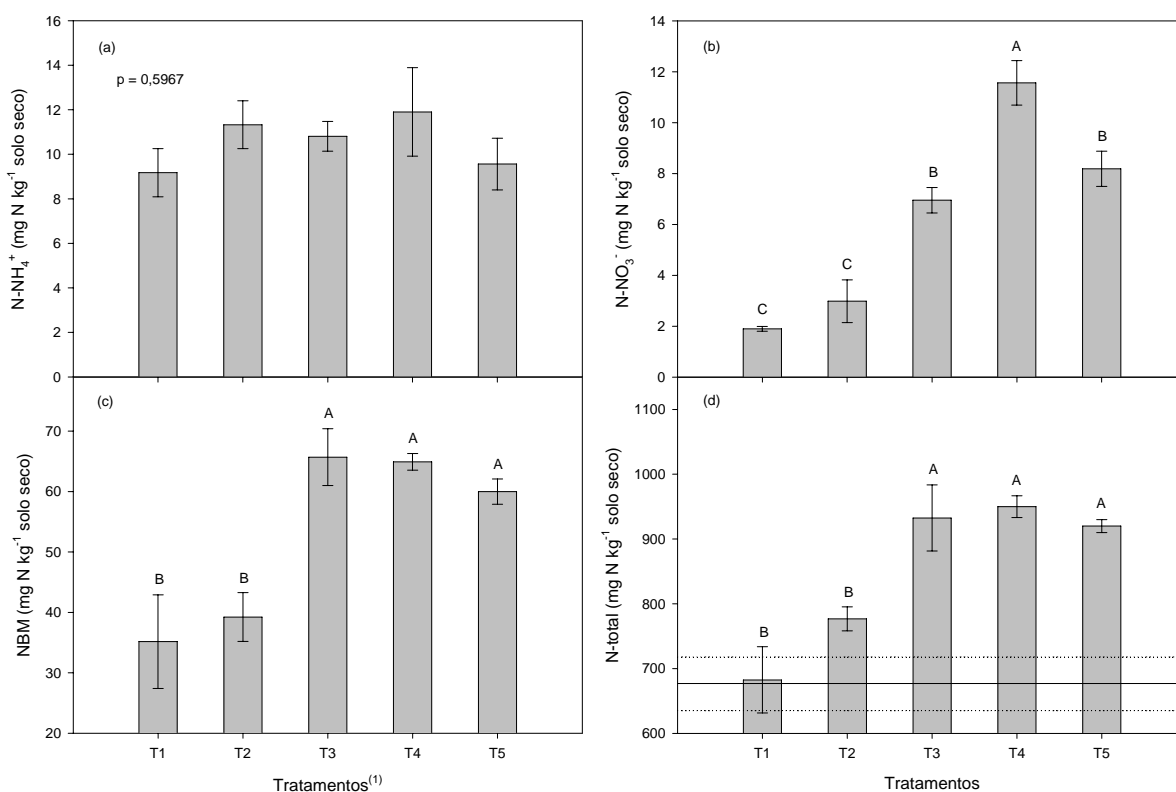


Figura 8. Teores de N-NH_4^+ (a), N-NO_3^- (b), NBM (c), N-total (d) no solo (0-0,1 m), aos 39 dias após o transplântio das mudas de alface. Barras sobre as colunas indicam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Linha sólida (linha de base) representa o teor de N-total no solo três dias antes da adubação pré-plantio, enquanto as linhas pontilhadas representam os limites do erro padrão da linha de base. ⁽¹⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura.

Tabela 5. Balanço de N no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplântio, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas⁽¹⁾.

Tratamentos ⁽²⁾	Entradas (kg ha ⁻¹)	Exportado pela parte aérea			Perdas		Balanço		
		(kg ha ⁻¹)	ET ⁽³⁾ (%)	EFO ⁽⁴⁾ (%)	EAC ⁽⁵⁾ (%)	(kg ha ⁻¹)	(%)		
T1	0,0	12,3c	-	-	-	-7,5	-	-19,8b	-
T2	150,8	16,3c	10,8	2,6b	-	-35,7	-23,6	98,9b	65,6
T3	451,1	44,1b	9,8	7,0a	9,3	-111,9	-24,8	295,2a	65,4
T4	451,1	50,6a	11,2	8,5 ^a	11,4	-83,2	-18,4	317,2a	70,3
T5	451,1	38,5b	8,5	5,8 ^a	7,4	-133,2	-29,5	279,4a	61,9
<i>p</i>	-	0,0000	0,1323	0,0047	0,0527	0,3693	0,5432	0,0084	0,5605

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura. ⁽³⁾EFT = eficiência do tratamento. ⁽⁴⁾EFO = eficiência dos fertilizantes orgânicos. ⁽⁵⁾EAC = eficiência da adubação de cobertura.

A Figura 9 apresenta os resultados das análises de diferentes formas de C no solo aos 39 DAT, em função dos tratamentos. Apresenta também o teor inicial de C-total no solo antes da montagem do experimento (Figura 9 (f)). Diferente do NBM o CBM não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Jackson (2000), também em solo arenoso, observou que após a incorporação de resíduos de uma planta denominada “*phacelia*”, ocorreu aumento gradativo do CBM atingindo pico máximo aos 14 dias da incorporação, e duas semanas depois verificou que o CBM encontrava-se abaixo dos níveis que antecederam o experimento. Segundo esse autor, a amplitude máxima do NBM também ocorreu por volta de duas semanas, mas a queda dos níveis de NBM ocorreu de forma muito mais branda atingindo nível de NBM encontrado antes da incorporação dos resíduos de “*phacelia*”, somente aos 116 dias após a incorporação. Os resultados Jackson (2000) podem explicar o comportamento do N e C da biomassa microbiana do presente trabalho, tendo em vista que a última adubação de cobertura foi realizada 17 dias antes da coleta de solo para as análises, e também utilizou o método de fumigação-extração (Brookes et al., 1985; Vance et al., 1987). Por outro lado, algumas controvérsias têm sido encontradas na literatura em relação ao cálculo do CBM sem a subtração do não-fumigado (Horwath & Paul, 1994), em oposição aos métodos originais que requerem essa subtração. Alguns autores consideram que o método sem a subtração é mais robusto, podendo ser aplicado para uma faixa mais ampla de condições ambientais (Franzluebbers et al., 1999). Contudo, os valores obtidos sem a subtração do não-fumigado incluem outras frações lábeis de carbono, além da biomassa microbiana. De-Polli et al. (2007) denominaram esses valores de CBM ‘plus’. Esses autores relatam a existência de alta correlação entre CBM plus e CBM, em diferentes condições de manejo do solo, atestando o potencial de ambos os métodos como indicadores da qualidade do solo, e apontam como vantagem do método CBM plus, em relação aos métodos tradicionais, a economia de reagentes, tempo e mão-de-obra, pelo primeiro não incluir as amostras não-fumigadas.

Neste trabalho o CBM apresentou tendência distinta das outras formas de C avaliadas no solo (Figura 9). O mesmo não foi verificado para o CBM plus, que apresentou resultado estatisticamente semelhante ao C-lábil, C-total, RBS e qCO₂, que por sua vez acompanharam as mesmas tendências verificadas para as componentes de produtividade da alface (Figura 1(a-d)), e para os teores de NBM e N-total no solo (Figura 8 (c) e (d), respectivamente), evidenciando a representatividade e robustez do método, para avaliação do manejo da matéria orgânica no solo.

É importante destacar, ainda mais em tempos de aquecimento global, a forte e possível contribuição dos fertilizantes de leguminosas para a mitigação da concentração de CO₂ na atmosfera, pela assimilação fotossintética do carbono com posterior armazenagem do C no solo, por intermédio de adubação. Sabe-se que nem todo carbono aplicado ficará armazenado no solo, mas alguma fração dele sim, como mostra a Figura 9 (f) e a Tabela 6. Essa Tabela mostra que as adubações orgânicas contribuíram marcadamente para o aumento do conteúdo de C-total no solo, caracterizando balanço positivo para esse elemento. Observou-se que mais de 50% do C aplicado ficou armazenado no solo até o fim do cultivo da alface, não havendo diferenças percentuais de perdas entre os tratamentos que receberam essas adubações. No entanto, como foi aplicado mais C nos tratamentos que receberam adubação de cobertura a quantidade acumulada no solo foi muito maior. Esses resultados mostram que, em pelo menos um curto espaço de tempo, desde a assimilação do CO₂ até seu retorno para atmosfera, os fertilizantes de leguminosas expressam potencial para mitigação do aquecimento global. Entretanto, estudos que quantifiquem emissão de metano (CH₄) e óxido nitroso são necessários, para se poder afirmar de fato, que a tecnologia de produção e uso de fertilizantes de leguminosas (N₂O) é capaz de mitigar o aquecimento do planeta, tendo em vista que o poder estufa das moléculas de CH₄ e N₂O é respectivamente, 23 e 296 vezes

superior à molécula de CO₂ (IPCC, 2001), sendo necessária a realização do balanço total desses gases, em equivalentes de CO₂, para se saber o impacto real da tecnologia.

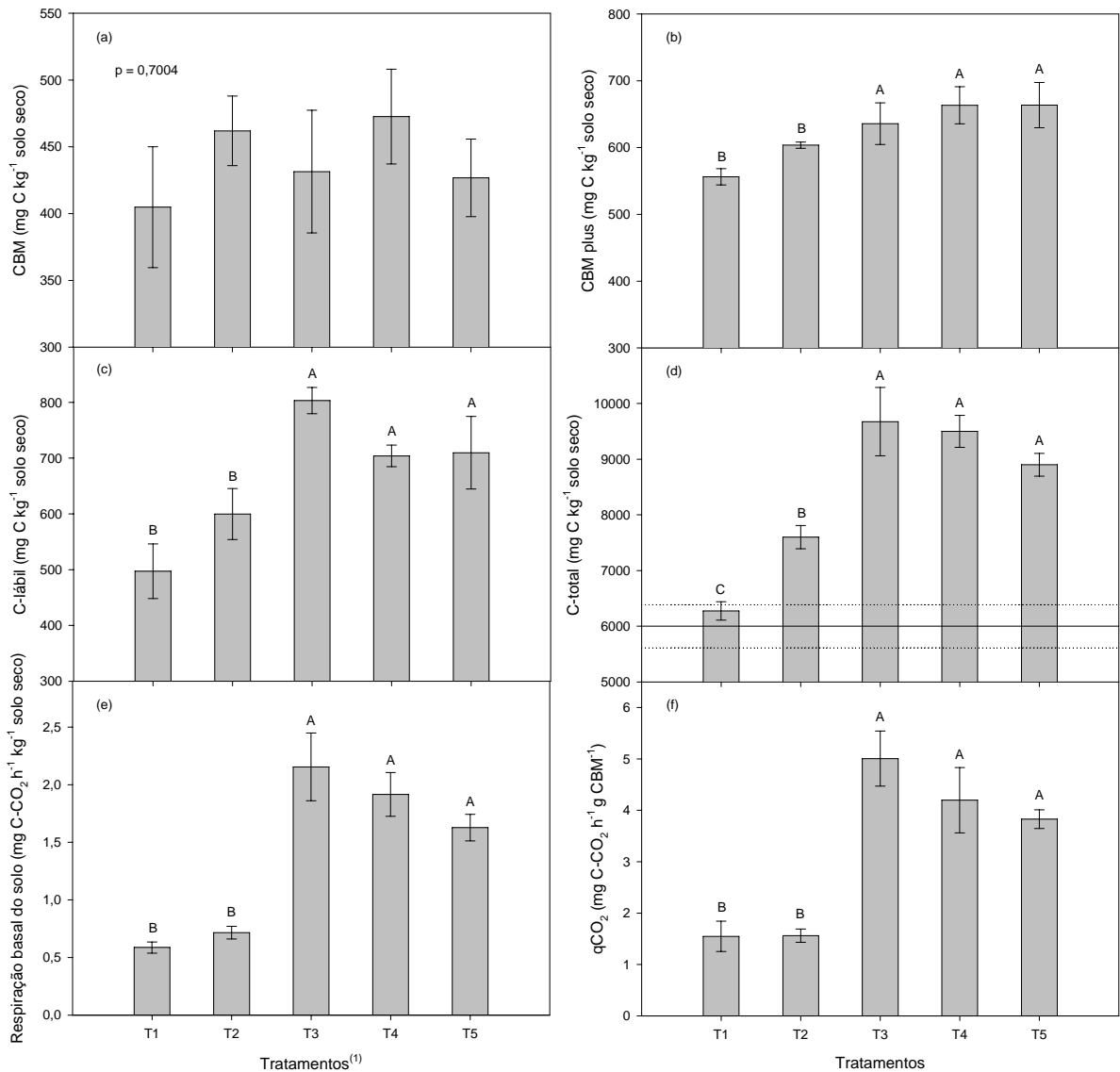


Figura 9. Teores de CBM (a), CBM plus (b), C-lábil (c), C-total (d), RBS (e) e qCO₂ (f) no solo (0-0,1 m) aos 39 dias após o transplante das mudas de alface. Barras sobre as colunas indicam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Linha sólida representa o cenário inicial (linha de base), três dias antes da adubação pré-plantio, e as linhas pontilhadas representam os limites do erro padrão da linha de base. ⁽¹⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura.

Tabela 6. Balanço de C-total no solo, em cultivo orgânico de alface (cv. Vera), aos 39 dias após o transplante, em função de diferentes fórmulas de adubação utilizadas⁽¹⁾.

Tratamentos ⁽¹⁾	Entradas (kg ha ⁻¹)	Perdas		Balanço	
		(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)
T1	0	358c		358c	
T2	2.629	-853b	-32	1776b	68
T3	7.821	-3.431a	-44	4.391a	56
T4	6.246	-2.076a	-33	4.170a	67
T5	6.308	-2.894a	-46	3.414a	54
<i>p</i>	-	0,0001	0,3413	0,0000	0,3413

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾T1= Adubação pré-plantio com termofosfato + sulfato de potássio; T2= T1 + esterco bovino em pré-plantio; T3= T2 + fertilizante de mucuna cinza em cobertura; T4= T2 + fertilizante de gliricídia em cobertura; T5= T2 + cama de aviário em cobertura.

4 CONCLUSÕES

1. Os fertilizantes de leguminosas são fontes promissoras de N para os sistemas orgânicos de produção de alface, capazes de substituir, em dosagem equivalente de N-total, a adubação de cobertura com cama de aviário industrial.
2. O fertilizante de gliricídia é mais eficiente do que o fertilizante de mucuna cinza e a cama de aviário, na provisão de N à cultura da alface, sendo que estes dois últimos insumos apresentam potencial comparável como fontes de N.
3. O tempo de vida útil pós-colheita da alface não é influenciado pelo tipo de adubo orgânico aplicado em cobertura.
4. Os fertilizantes de leguminosas e a cama de aviário contribuem marcadamente para melhoria de atributos químicos e biológicos do solo, com efeitos de magnitude semelhantes em relação ao aumento da atividade microbiana e acúmulo de C-total, C-lábil e N-total no solo.

RESUMO

Fertilizantes de leguminosas, produtos derivados do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de determinadas plantas da família Leguminosae, podem ser fontes eficazes para provisão N em sistemas orgânicos de produção, por possibilitarem a estocagem e uso do produto em quantidades e épocas apropriadas. Neste estudo foram conduzidos dois experimentos, em condições de casa de vegetação, com semeadura direta de rúcula (*Eruca sativa* Mill. 'Cultivada') em vasos. No primeiro deles, a adubação com cama de aviário industrial, ainda amplamente utilizada na agricultura orgânica nacional, foi comparada com dois fertilizantes de leguminosas, um de mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) e outro de gliricídia (*Gliricídia sepium*), considerando-se duas tecnologias de adubação (em cobertura ou incorporação). No segundo, a adubação com a cama de aviário foi comparada, com fertilizantes de cinco espécies de leguminosas (*Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Gliricídia sepium* e *Leucena leucocephala*), considerando-se duas dosagens de N-total. Esses experimentos tiveram como objetivos avaliar a influência dos diferentes manejos de adubação orgânica sobre a germinação e estabelecimento de plântulas de rúcula e o potencial de uso desses fertilizantes, como fontes alternativas de N para produção orgânica de rúcula. Ambos os experimentos foram conduzidos no delineamento inteiramente casualizado, o primeiro em arranjo fatorial 3 x 2 + 1, constando três fontes orgânicas de N (1,0 g vaso⁻¹ de N-total), duas tecnologias de adubação e um tratamento controle (ausência de fonte nitrogenada); e o segundo em arranjo 6 x 2 + 1, com seis fontes orgânicas de N, duas dosagens de N-total (0,5 e 1,0 g vaso⁻¹) e um tratamento controle. As avaliações iniciaram-se logo após a semeadura, sendo contabilizado o número de plântulas sobreviventes. Verificou-se que quando os fertilizantes de gliricídia e mucuna cinza foram incorporados, esse número foi nulo, indicando efeito antagônico da incorporação dos fertilizantes de leguminosas à germinação e/ou estabelecimento de plântulas de rúcula. Aos sete dias após a semeadura, plantas de todos os vasos foram cuidadosamente removidas, agrupadas e redistribuídas entre os vasos, não sendo observado efeito inibitório ao desenvolvimento das plantas. No segundo experimento, os fertilizantes foram aplicados em cobertura, não sendo observado efeito inibitório ao desenvolvimento inicial das plantas. Em relação à eficiência das fontes orgânicas de N, no primeiro experimento, o fertilizante de gliricídia foi o mais eficiente, com 18,6% de recuperação média do N aplicado, seguido por mucuna cinza, com 15,4% e cama de aviário, com 13,6%. A incorporação dos fertilizantes proporcionou maior recuperação média de N (18,1%), em comparação a adubação em cobertura (13,6%). No segundo experimento, os fertilizantes de leguminosas foram tão eficientes quanto à cama de aviário na provisão de N à rúcula. Tratamentos que receberam 1,0 g vaso⁻¹ de N, apresentaram maior produção de massa fresca, área foliar e acúmulo de N na parte aérea do que àqueles que receberam 0,5 g de N, sendo todos superiores ao controle. No entanto, o percentual relativo de recuperação do N aplicado foi mais favorável para dosagem de 0,5 g de N (18,0%), do que para maior dosagem (14,8%). Os resultados indicam que os fertilizantes de leguminosas são capazes de substituir a cama de aviário industrial, em dosagem equivalente de N-total, assumindo relevância como fontes de N para os sistemas orgânicos de produção.

Palavras-chave: fertilizantes orgânicos, eficiência da adubação nitrogenada, agricultura orgânica.

ABSTRACT

Legume fertilizer, product derived from cutting, dehydration and milling of the aerial biomass of some plant types of the Leguminosae family can be efficient N sources in organic systems of production. This system provides facilities for storage and use of the green manure in appropriate amount and timing. In this study, two experiments had been conducted in greenhouse conditions with directed planting of arugula (*Eruca sativa* Mill. cv. Cultivada) in pots. In the first experiment, soil fertilization with poultry-bed manure, that still widely used in national organic agriculture, was compared with two legume fertilizers, one from gray velvet bean (*Mucuna pruriens*) and the other from gliricidia (*Gliricidia sepium*), considering two technologies of fertilizer application to the soil (covering or incorporation). In the second experiment, the fertilization with poultry-bed manure was compared with fertilizer from five legume species (*Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Gliricidia sepium* e *Leucena leucocephala*), considering two doses of total N. The objectives of those experiments were to evaluate the influence of different organic fertilization management on the germination and establishment of arugula plantlet and the use potential of these fertilizers as alternative sources of N for organic production of arugula. It was used a completed randomized experimental design in both experiments. For the first one, it was used a factorial arrangement $3 \times 2 + 1$, consisting of three organic sources of N (1.0 g vaso^{-1} of total N), two technologies of fertilization and a control treatment (no N application). For the second one, a factorial $6 \times 2 + 1$, with six organic sources of N, two doses of total N (0.5 and 1.0 g pot^{-1}) and a control. Evaluation started right after sowing, being considered the number of survived plants. It was verified that when the fertilizers of gliricidia and velvet bean were incorporated to the soil, this number was null, indicating antagonistic effect of legume fertilizer incorporation to the germination and/or establishment of arugula plantlet. Seven days after sowing, plants from all pots were carefully removed, grouped and redistributed between pots, no inhibition effect to the development of the plants was observed. In the second experiment, fertilizers were applied in covering and no inhibition was observed to the initial development of the plants. In relation to the efficiency of the organic sources of N, in the first experiment, gliricidia fertilizer was the most efficient, with 18.6% of recovery of the applied N, followed by velvet bean with 15.4% and poultry-bed manure with 13.6%. The incorporation of fertilizers provided, in average, greater recovery of N (18.1%) in comparison to covering fertilization (13.6%). In the second experiment, the legume fertilizers were as efficient as poultry-bed manure in the provision of N to arugula. Treatments that received 1.0 g N pot^{-1} presented greater production of fresh biomass, leaf area and accumulation of N in the aerial plant part than the treatments that received 0.5 g N pot^{-1} being both superior to the control. However, the relative percentage of recovery of the applied N was more favorable for the dose of 0.5 g of N (18.0%) than the higher dose (14.8%). These results indicate that the legume fertilizers are capable to substitute poultry-bed manure with equivalent total N dose, showing relevance as sources of N for organic production system.

Key words: organic fertilizers, nitrogen supply efficiency, organic agriculture.

1 INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* Mill.) é uma hortaliça folhosa pertencente à família das brassicáceas, a mesma da couve-flor, repolho, mostarda, agrião, brócolos, nabo e rabanete (Figueira, 2003). Suas folhas possuem sabor picante e cheiro agradável, ricas em sais minerais, vitaminas A e C, e são muito apreciadas na composição de saladas, refogados e pizzas, sendo também utilizada como planta medicinal. É uma cultura de ciclo rápido que produz melhor sob temperaturas amenas. Tradicionalmente é cultivada sob semeadura direta em canteiros definitivos, em sulcos longitudinais distanciados de 0,20-0,30 m, deixando-se, após o desbaste, as plantas espaçadas de 0,05 m (Figueira, 2003).

Como toda hortaliça folhosa, a produtividade e qualidade de sua folhagem são fortemente influenciadas pela adubação nitrogenada, que estimula o desenvolvimento vegetativo da planta, promovendo maior ganho de massa fresca e área foliar. Além disso, a provisão de N estimula o aumento da concentração de clorofila, deixando a folhagem mais verde e, conseqüentemente, atraente do ponto de vista comercial.

Um dos principais entraves à produção orgânica de alimentos é a reduzida disponibilidade de fontes de nitrogênio eficientes e de baixo custo. Estercos, camas, compostos e resíduos agroindustriais têm sido amplamente utilizados, mas são insuficientes para alicerçar e exponenciar a agricultura orgânica mundial, além disso, normativas técnicas, nacionais e internacionais, impõem restrições ao uso desses produtos, quando oriundos de fora da unidade de produção orgânica (MAPA, 1999; FAO/WHO, 2001; IFOAM, 2005; IBD, 2006; Demeter, 2006). Nesse sentido, a fixação biológica de N₂ (FBN), mais especificamente a adubação verde com leguminosas, é uma estratégia capaz de aumentar a autonomia do sistema quanto ao uso de N, minimizando a dependência da entrada de insumos externos. Entretanto, as atuais práticas de adubação verde, em rotação ou consórcio, dificilmente conseguem garantir todo N necessário para o desenvolvimento satisfatório das culturas, que acabam necessitando de suplementação com outras fontes nitrogenadas.

A transformação da biomassa aérea de determinadas plantas da família Leguminosae (com elevada capacidade de FBN, acúmulo de N e facilidade de manejo) em fertilizantes de leguminosas, possibilita que o adubo verde seja estocado e utilizado em quantidade e época adequada, melhorando a eficiência da provisão de N.

Neste estudo foram conduzidos dois experimentos com semeadura direta de rúcula (*Eruca sativa* Mill. 'Cultivada'), em condições de casa de vegetação. No primeiro deles, a adubação com cama de aviário industrial, ainda amplamente utilizada na agricultura orgânica nacional, foi comparada com dois fertilizantes de leguminosas, um de mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) e outro de gliricídia (*Gliricídia sepium*), considerando-se duas tecnologias de adubação (em cobertura ou com incorporação). No segundo, a adubação com a cama de aviário foi comparada, com fertilizantes de cinco espécies de leguminosas (*Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Gliricídia sepium* e *Leucena leucocephala*), considerando-se duas dosagens de N-total. Esses experimentos tiveram como objetivos avaliar a influência dos diferentes manejos de adubação orgânica sobre a germinação e estabelecimento de plântulas de rúcula e o potencial de uso desses fertilizantes, como fontes alternativas de N, para produção orgânica dessa cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Primeiro Experimento

De 22 de junho a 4 de agosto de 2005, foi conduzido um experimento em vasos com rúcula ('Cultivada'), em condições de casa de vegetação, situada em Seropédica, RJ (latitude 22° 45' S; longitude 43° 40' W; altitude 26 m). Os vasos eram de polietileno preto, com o fundo perfurado, com área de 250 cm² (17,84 cm de diâmetro), e capacidade volumétrica de 4,1 L. A casa de vegetação era dotada de cobertura de polietileno transparente e laterais revestidas com tela anti-afídica.

A terra utilizada foi retirada de um horizonte A_p de um Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006) em pousio no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) (Almeida et al., 2003), cuja análise revelou os seguintes resultados: pH_{H2O}, 5,8; Al, 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca, 3,3 cmol_c dm⁻³; Mg, 2,1 cmol_c dm⁻³; P, 6,0 mg dm⁻³; K, 53,0 mg dm⁻³; C, 10,5 g kg⁻¹; N, 1,15 g kg⁻¹; argila, 286 g kg⁻¹; areia, 606 g kg⁻¹; e silte 108 g kg⁻¹ (Embrapa, 1997).

Os vasos foram preenchidos com 4.500 g de terra seca ao ar, destorroada, peneirada em malha de 6,5 mm, e adubada com termofosfato sílico-magnésiano¹ (na dose de 500 g por 225 kg de terra seca) e micronutrientes² (na dose de 5 g por 225 kg de terra seca ao ar). Considerando-se aplicação desses fertilizantes em campo, com incorporação a 0,1 m de profundidade e densidade do solo de 1,3 g cm⁻³, a aplicação do termofosfato corresponderia a aproximadamente, em kg ha⁻¹: P, 210; Ca, 580; Mg, 200; e a de micronutrientes a: Zn, 2,60; Mn, 0,58; Fe, 0,58; B, 0,52; Cu, 0,23; Mo, 0,03. Essas adubações foram realizadas visando elevar os níveis de P, Ca, Mg e micronutrientes no solo.

2.1.1 Preparo dos fertilizantes orgânicos

Os fertilizantes de leguminosas foram produzidos com plantas cultivadas no SIPA. A mucuna cinza foi semeada em dezembro de 2004 e cortada aos 135 dias do ciclo. A biomassa foi imediatamente transportada para uma casa de vegetação com piso de cimento, onde ocorreu sua desidratação ao sol. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho de martelos equipado com peneira de 3 x 13 mm.

O fertilizante de gliricídia foi produzido a partir da receita de árvores com cerca de dois anos de idade. Essas árvores originaram-se do plantio de estacas (1,5 m de comprimento por 5 cm de diâmetro), a intervalos de 2 m, constituindo faixas espaçadas de 8 m entre si. Os troncos foram cortados a 0,5 m de altura, com auxílio de uma moto-serra, corte dos galhos com a folhagem, seguido de secagem em casa de vegetação. Após a secagem os galhos foram removidos, e o material remanescente (folíolos e pecíolos) triturados em moinho de facas com malha de 2 mm de diâmetro. No final das operações de moagem, os fertilizantes de leguminosas foram homogêneos, e armazenados em sacolas de polietileno.

A cama de aviário foi adquirida de estabelecimento industrial, sendo oriunda de galpão de frangos para abate. Essa cama foi secada em casa de vegetação e, da mesma forma, estocada.

Para melhorar a homogeneidade dos fertilizantes orgânicos e reduzir o erro experimental, eles foram peneirados em malha de 2 mm, analisados (Tabela 1), pesados e acondicionados em sacolas de papel individualizadas, conforme respectivo tratamento.

¹ Termofosfato sílico-magnésiano: P₂O₅ total = 18%; P₂O₅ sol. ácido cítrico 2% = 16,5%; Ca = 20%; Mg = 7%.

² FTE BR 12: Zn = 9%; Mn = 2%; Fe = 2%; B = 1,8%; Cu = 0,8%; Mo = 0,10%.

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes orgânicos⁽¹⁾.

Fertilizante orgânico	Umidade-65° C (%)	C:N (adimensional)	C	N	P	K	Ca	Mg
			----- (g kg ⁻¹) -----					
Fertilizante de mucuna cinza	7,8	16	460	28,0	2,2	9,7	9,7	2,3
Fertilizante de gliricídia	9,6	14	445	32,0	1,4	7,0	18,2	5,1
Cama de aviário	8,5	11	345	32,0	21,3	20,7	49,2	7,2

⁽¹⁾Valores expressos em base úmida.

2.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 2 + 1, com cinco repetições. Foram avaliadas no fatorial três fontes orgânicas de N (cama de aviário, fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia) – considerando-se dosagem equivalente de N-total (Tabela 2) –, e duas tecnologias de adubação (incorporação ou aplicação dos fertilizantes orgânicos em cobertura), constando ainda, um tratamento controle (ausência de adubação nitrogenada), em um total de sete tratamentos:

Tratamentos:

- T1 - Fertilizante de gliricídia em cobertura;
- T2 - Fertilizante de gliricídia incorporado;
- T3 - Fertilizante de mucuna cinza em cobertura;
- T4 - Fertilizante de mucuna cinza incorporado;
- T5 - Cama de aviário em cobertura;
- T6 - Cama de aviário incorporada;
- T7 - Controle (ausência de fonte nitrogenada).

Na Tabela 2 constam as doses (quantidades) dos fertilizantes orgânicos aplicados, e o que representam em termos do fornecimento de C, N, P, K, Ca e Mg, no vaso e em campo, sendo adotada a área do vaso (250 cm³) para conversão dos valores em kg ha⁻¹.

Tabela 2. Dosagem (quantidade) dos fertilizantes orgânicos e composição química das adubações nos tratamentos do fatorial, e equivalência em campo⁽¹⁾.

Fertilizante orgânico	Quantidade (g vaso ⁻¹)	C	N	P	K	Ca	Mg
		----- (mg vaso ⁻¹) -----					
Fertilizante de mucuna cinza	35,71	16.413	1.000	79	345	345	80
Fertilizante de gliricídia	31,25	13.911	1.000	43	219	568	158
Cama de aviário	31,25	10.770	1.000	667	647	1.538	224
		----- (kg ha ⁻¹) -----					
Fertilizante de mucuna-cinza	14,29	6.565	400	31	138	138	32
Fertilizante de gliricídia	12,50	5.564	400	17	88	227	63
Cama de aviário	12,50	4.308	400	267	259	615	90

⁽¹⁾Valores expressos em base úmida.

2.1.3 Montagem do experimento

As adubações orgânicas foram realizadas três dias antes da semeadura e, nesta ocasião, com auxílio de uma pipeta automática, foi aplicado solução contendo dose de 0,25 g vaso⁻¹ de sulfato de potássio (50% K₂O e 17% de S), para os tratamentos do fatorial, e de 0,625 g vaso⁻¹, para o controle. Com base na área do vaso, essas aplicações em campo corresponderiam a 41 e 17 kg ha⁻¹ K e S, respectivamente, para os tratamentos do fatorial, e de 104 e 43 kg ha⁻¹ de K e S, para o controle. Esse tratamento recebeu maior dosagem de K e S para compensar a baixa entrada desses macronutrientes, em relação aos demais tratamentos.

Os fertilizantes orgânicos foram aplicados em cobertura, e incorporados (0-5 cm) ou não, conforme o tratamento. Em seguida, foi aplicada água até 60% da capacidade de vaso (estimada em laboratório, Item 2.3), adicionado o sulfato de potássio e aplicado o restante da água até a capacidade de vaso. No dia 25 de agosto de 2005, três dias após a aplicação dos tratamentos, dezesseis sementes de rúcula foram alocadas no centro dos vasos, em uma diminuta cova, cavada com uma colher, e cobertas com 8 mL de uma mistura de vermicomposto terra de barranco (2:1, em volume) peneirada em malha de 2 mm, sendo efetuada irrigação até a capacidade de vaso. Nos tratamentos com aplicação do fertilizante em cobertura, foi necessário re-locar lateralmente os fertilizantes orgânicos para se realizar a semeadura.

No mesmo dia da semeadura, cinco vasos adicionais, com a mesma terra usada no experimento, foram semeados em alta densidade, caso houvesse necessidade de reposição das mudas.

2.2 Segundo Experimento

O experimento foi conduzido em vasos, com rúcula ‘Cultivada’, em condições de casa de vegetação, situada em Seropédica, RJ (latitude 22° 45' S; longitude 43° 40" W; altitude 26 m). Os vasos eram de polietileno preto, com o fundo perfurado, área de 250 cm² (17,84 cm de diâmetro) e capacidade volumétrica para 4,1 L. A casa de vegetação tinha cobertura com placas de polietileno, sombreamento artificial com manta refletora aluminizada e controle automático para a temperatura máxima (< 33°C).

O solo foi coletado em área do Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ, no dia 1 de novembro de 2006, em camada recém arada (15 dias) de um Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006). A terra foi levemente destorroada, peneirada em malha de 7 mm e encaminhada para análise química e granulométrica (Embrapa, 1997), a qual revelou os seguintes resultados: pH_{H2O}, 5,5; Al, 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al, 3,0 cmol_c; Ca, 3,0 cmol_c dm⁻³; Mg, 1,8 cmol_c dm⁻³; P, 12,5 mg dm⁻³; K, 82,0 mg dm⁻³; C, 10,5 g kg⁻¹; N, 1,15 g kg⁻¹; argila, 296 g kg⁻¹; areia, 618 g kg⁻¹; e silte, 86 g kg⁻¹.

Os vasos foram preenchidos com 4.500 g de terra seca ao ar, destorroada, peneirada em malha de 6,5 mm, e adubada com auxílio de betoneira, com termofosfato sílico-magnésiano³ (na dose de 300 g por 270 kg de terra seca) e sulfato de potássio (PA) (na dose de 25,2 g por 225 kg de terra seca ao ar). Essas dosagens equivaleriam em campo, considerando-se incorporação dos fertilizantes a 0,1 m de profundidade e densidade do solo de 1,3 g cm⁻³, a aplicação de, em kg ha⁻¹: P, 100; Ca, 289; Mg, 101; K, 55; S, 22; Zn, 7,94; Mn, 1,73; B, 1,44; Cu, 0,72; Mo, 0,09. Essas adubações foram realizadas visando elevar os níveis de P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes no solo, deixando-se N como nutriente limitante.

2.2.1 Preparo dos fertilizantes orgânicos

Neste experimento foram utilizados os mesmos fertilizantes orgânicos especificados no Capítulo 1, sendo incluso cama de aviário industrial, que foi processada e armazenada da mesma forma que os fertilizantes de crotalária, mucuna cinza, arachis, gliricídia, leucena. Os resultados das análises químicas desses fertilizantes foram apresentados na Tabela 3. Esses fertilizantes foram pesados em balança de precisão (0,01 g), e acondicionados em sacolas de papel, conforme o respectivo tratamento.

³ Termofosfato sílico-magnésiano: P₂O₅ total = 17,5%; P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2% = 16,0%; Ca = 20%; Mg = 7%; Zn = 0,55%; Mn = 0,12%; B = 0,10%; Cu = 0,05%; Mo = 0,006%.

Tabela 3. Características químicas dos fertilizantes orgânicos utilizados⁽¹⁾.

Fertilizante orgânico	C:N (adimensional)	C	N	P	K	Ca	Mg
		----- (g kg ⁻¹) -----					
Fertilizante de crotalária	23	510	22,0	1,8	8,0	9,8	5,3
Fertilizante de mucuna cinza	18	498	28,5	2,4	23,5	10,4	3,0
Fertilizante de arachis	16	489	30,0	1,4	16,3	13,9	3,7
Fertilizante de gliricídia	14	497	35,2	1,2	13,5	15,2	5,2
Fertilizante de leucena	13	491	36,9	1,4	21,0	15,3	4,6
Cama de aviário industrial	10	367	37,7	21,6	28,2	30,2	3,5

⁽¹⁾Valores expressos em base seca.

2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 6 x 2 + 1, com quatro repetições. Foram avaliadas no fatorial seis fontes orgânicas de N (fertilizantes de crotalária, mucuna cinza, arachis, gliricídia e leucena, e a cama de aviário), e dois níveis de adubação (0,5 e 1,0 g vaso⁻¹ de N-total), e um tratamento controle (ausência de fonte nitrogenada), constando um total de 13 tratamentos:

Tratamentos:

- T1 - Fertilizante de crotalária na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T2 - Fertilizante de crotalária na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T3 - Fertilizante de mucuna cinza na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T4 - Fertilizante de mucuna cinza na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T5 - Fertilizante de arachis na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T6 - Fertilizante de arachis na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T7 - Fertilizante de gliricídia na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T8 - Fertilizante de gliricídia na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T9 - Fertilizante de leucena na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T10 - Fertilizante de leucena na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T11 - Cama de aviário na dose 0,5 g vaso⁻¹ de N-total;
- T12 - Cama de aviário na dose 1,0 g vaso⁻¹ de N-total;
- T13 - Tratamento controle (ausência de fonte nitrogenada).

Na Tabela 4 constam as doses (quantidades) dos fertilizantes orgânicos aplicadas nos tratamentos que receberam 1,0 g vaso⁻¹ de N-total, e o que representam em termos de fornecimento de C, N, P, K, Ca e Mg, em vaso e em campo, sendo adotada a área do vaso (250 cm³) para conversão dos valores em kg ha⁻¹.

Tabela 4. Dosagem (quantidade) dos fertilizantes orgânicos e composição química das adubações nos tratamentos que receberam 1,0 g vaso⁻¹ de N-total, e sua equivalência em campo⁽¹⁾.

Fertilizante orgânico	Quantidade (g vaso ⁻¹)	C	N	P	K	Ca	Mg
		----- (mg vaso ⁻¹) -----					
Fertilizante de crotalária	45,43	23.182	1000	84	365	443	243
Fertilizante de mucuna cinza	35,14	17.513	1000	85	827	364	105
Fertilizante de arachis	33,33	16.291	1000	48	543	464	122
Fertilizante de gliricidia	28,42	14.128	1000	33	383	433	148
Fertilizante de leucena	27,08	13.307	1000	38	569	415	123
Cama de aviário	26,50	9.715	1000	572	746	800	92
	(Mg ha ⁻¹)	----- (kg ha ⁻¹) -----					
Fertilizante de crotalária	18,17	9273	400	34	146	177	97
Fertilizante de mucuna cinza	14,05	7005	400	34	331	145	42
Fertilizante de arachis	13,33	6517	400	19	217	185	49
Fertilizante de gliricidia	11,37	5651	400	13	153	173	59
Fertilizante de leucena	10,83	5323	400	15	228	166	49
Cama de aviário	10,60	3886	400	229	298	320	37

⁽¹⁾Valores expressos em base seca.

2.2.3 Montagem e condução do experimento

O experimento teve início no dia 8 de novembro de 2007 com a aplicação dos fertilizantes orgânicos e semeadura da rúcula. Inicialmente, 500 mL de água foram adicionadas em cada vaso. Quatro horas depois, com auxílio de uma colher foi cavada uma pequena cova no centro dos vasos, onde 12 sementes de rúcula (com 95% de poder de germinação, conforme enunciado pelo fabricante) foram alocadas, e cobertas com 5 mL da mesma terra utilizada no experimento, peneirada em malha de 2 mm. Em seguida, um recipiente de plástico com 5,8 cm de diâmetro e 7 cm de altura foi fixado no centro dos vasos, isolando a área de semeadura, ao redor da qual os fertilizantes orgânicos foram uniformemente aplicados (Anexo D). Adicionou-se 250 mL de água, 2 x 125 mL, e depois de infiltrada, os recipientes de plástico foram retirados. No dia seguinte, recolocaram-se os recipientes, e com auxílio de balança, a água foi adicionada até próximo da capacidade de vaso (estimada em laboratório, Item 2.3). No tratamento controle, a água foi adicionada até a massa total de cada vaso atingir 5.520 g, e nos demais tratamentos, a adição de água foi até 5.660 g, visando compensar a elevada retenção de água dos fertilizantes orgânicos e a própria massa desses. Terminada esta etapa, os recipientes plásticos foram definitivamente retirados. A partir dos 10 DAS, a água, em todos os tratamentos, foi adicionada até 5.520 g.

Aos seis DAS foi realizado um pré-desbaste deixando-se de 6 a 8 plantas vaso⁻¹, e aos 12 DAS um desbaste definitivo para 5 plantas.

Aos 20 DAS, com auxílio de uma pipeta automática, foram aplicadas ao tratamento controle e aos tratamentos com níveis de 0,5 e 1,0 g vaso⁻¹ de N, doses de sulfato de potássio (PA) em solução respectivamente iguais a 0,56; 0,33 e 0,1 g vaso⁻¹, que corresponderiam em campo às doses: 101; 59 e 18 kg ha⁻¹ de K e 41; 24 e 7 kg ha⁻¹ de S, respectivamente.

Aos 22 DAS todos os vasos foram remexidos em superfície, com uma mini-ferramenta, com o propósito de estimular a decomposição dos fertilizantes.

A colheita foi realizada aos 36 DAS.

2.3 Determinação da Capacidade de Vaso e Manejo da Água nos Experimentos

A quantidade de água colocada nos vasos foi controlada por intermédio de pesagens, com reposição da água evapotranspirada até próximo da capacidade máxima de retenção de água nos vasos, sem haver saturação, denominada capacidade de vaso.

Sabe-se que para pingar água do vaso, a respectiva terra precisa estar com certo nível de saturação de água, pois necessita de maior nível energético para conseguir ultrapassar os furos do vaso, e mesmo depois de encerrado o gotejamento, a terra continua semi-saturada. A fim de evitar esse problema, a capacidade de vaso foi determinada em laboratório, conforme método abaixo.

Determinou-se em balança digital de precisão (0,01 g), a massa de um recipiente de vidro temperado com boca larga (MR), que em seguida recebeu amostra da terra usada no experimento (TUE) de aproximadamente 50 g, procedendo-se a determinação da massa do conjunto antes e depois de 24 h, em estufa a 105°C (MA e MD, respectivamente). A umidade da TUE (U_{tue}) foi estimada pela equação: $U_{tue} \text{ (g/g)} = (MA-MD)/(MD-MR)$, e a quantidade equivalente de terra seca em estufa contida nos vasos (TSE), pela equação: $TSE \text{ (g)} = 4.500 \times (MD-MR)/(MA-MR)$.

Quatro provetas de 100 mL foram preenchidas com a TUE, até a marca dos 100 mL. Em seguida, 14 mL de água destilada foram adicionadas a cada proveta e, para se reduzir os riscos de evaporação, foram tampadas com um pedaço de papel alumínio, sem obstruir totalmente a entrada de ar. De 30 em 30 minutos, a progressão da frente de molhamento foi marcada nas provetas com caneta de retro-projetor. Não havendo progressão visível entre duas marcações, realizava-se a amostragem, coletando-se cerca de 30 g da terra molhada, procedendo-se a determinação da umidade da terra na capacidade de vaso (U_{cv}), conforme descrito para U_{tue} . A quantidade de água a ser adicionada a terra para se atingir a capacidade de vaso (A_{cv}), foi calculada pela equação: $A_{cv} \text{ (mL)} = (U_{cv} - U_{tue}) \times TSE$.

2.3.1 Aplicação do método

No primeiro experimento foram determinados os seguintes valores médios: $U_{tue} = 0,0594$; $U_{cv} = 0,2726$; $TSE = 4.247,5 \text{ g}$; tendo-se então: $A_{cv} = (0,2726 - 0,0561) \times 4.247,5 = 905,4 \text{ mL}$. Como a massa de cada vaso vazio (V) era de 150 g, a massa total do vaso com a terra na capacidade de vaso ($MT_{cv} = V + TUE + A_{cv}$) foi de: $MT_{cv} = 150 + 4.500 + 905,4 = 5555,4 \text{ g}$. Para facilitar, na condução do experimento foi adotado o valor de $MT_{cv} = 5.550 \text{ g}$, e durante as pesagens, a reposição da água foi realizada para se alcançar este valor.

No segundo experimento o valor de MT_{cv} foi de 5.520 g.

2.4 Variáveis Avaliadas em Ambos os Experimentos

As avaliações foram divididas em duas etapas, uma logo após a sementeira, na qual foi contabilizado o número de plântulas sobreviventes, e outra depois da colheita, na qual foram avaliados atributos fitotécnicos referente à parte aérea da rúcula.

No primeiro experimento a colheita foi realizada aos 40 DAS, e avaliado: massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF) e os teores de N, P, K, Ca, e Mg na matéria seca da parte aérea. Foram criadas quatro variáveis: porcentagem de matéria seca ($\%MS = MS \times 100/MV$), superfície específica ($SE = AF/MS$), nitrogênio acumulado na parte aérea ($N_{ac} = MS \times N$) e a porcentagem de N na rúcula derivada do fertilizante orgânico pelo método da diferença (Handayanto et al., 1997), conforme equação (I).

$$N \text{ derivado do fertilizante orgânico (\%)} = (N_{acT} - N_{acC}) \times 100/1000 \text{ ou } 500 \quad (I)$$

Onde: N_{acT} é o N_{ac} no tratamento avaliado; N_{acC} é o N_{ac} no controle; 500 ou 1000 são as doses de N adotadas no tratamento, em $mg\ vaso^{-1}$ de N-total.

No segundo experimento a colheita foi realizada aos 36 DAT sendo avaliados apenas MF, AF, NF, %MS, SE, teor de N, N_{ac} e porcentagem de N na rúcula derivada do fertilizante orgânico.

2.4.1 Procedimentos para Obtenção de MF, NF, AF e MS

Um dia antes da colheita, no fim da tarde, os vasos foram saturados com água, para garantir que na ocasião do corte as plantas estivessem bem túrgidas. Os vasos foram levados para um laboratório, onde as plantas foram cortadas rente à superfície do solo, e pesadas em balança digital de precisão (0,1 g), obtendo-se MF. O NF foi obtido pela contagem das folhas com mais de 5 cm de comprimento. A AF correspondeu à área de toda parte aérea, medida folha por folha e um diminuto caule, por um integrador área foliar modelo LI – 3100. A MS foi quantificada em balança digital de precisão (0,01 g), após secagem da MF em estufa com ventilação forçada de ar a 65° C, por 96 horas.

2.4.2 Preparo das amostras e análise química

Amostras dos fertilizantes orgânicos e a parte aérea da rúcula foram secadas por 96 h em estufa com ventilação forçada e regulada a 65°C, processadas em moinho tipo Wiley por três minutos; transferidas para um moinho de rolo de centro (moinho de bola), onde permaneceram por 48 h, e acondicionadas em frascos de acrílico. Estes frascos, antes de serem tampados, foram mantidos em estufa a 65° C por 20 h.

Os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados após digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). O P em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor; Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica; e o K por espectrometria de emissão atômica (Embrapa, 1997). O N foi determinado em Kjeldahl, após digestão sulfúrica (Bremner & Mulvaney, 1982). O teor de C pelo método da perda por ignição, descrito em Kiehl (1985), porém modificado para 4 h em estufa a 105°C, e 2 h em mufla a 550°C.

2.5 Análises Estatísticas

Depois de verificado o atendimento às pressuposições de normalidade e homogeneidade da variância dos erros, os dados de cada variável foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de probabilidade de 5%, sendo realizado desdobramento dos fatores quando a interação foi significativa, e comparação dentro dos níveis dos fatores quando não houve interação. Sendo também realizada matriz de correlação entre os valores de MF, MS, AF, NF, N, P, K, Ca e Mg. As análises estatísticas foram realizadas nos softwares Microsoft® Excel; SAEG®, da Universidade Federal de Viçosa; e SISVAR®, da Universidade Federal de Lavras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Primeiro Experimento

3.1.1 Avaliações realizadas da semeadura a colheita

Três dias após a semeadura (DAS), as plântulas já haviam emergido na maioria dos vasos, exceto em 20% e 80% dos vasos que receberam fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia foram incorporados. Aos cinco dias após a semeadura, 40% dos vasos que receberam adubação em cobertura com os fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia, encontrava-se sem plantas, esse efeito foi ainda maior quando a incorporação foi realizada, gerando perdas de 80%, 100% e 20%, respectivamente para os tratamentos com os fertilizantes de mucuna cinza e gliricídia e com a cama de aviário. No entanto, verificou-se que por ocasião da semeadura, foi praticamente impossível deixar a região de semeadura isenta de vestígios de fertilizante orgânico, o que provavelmente acarretou a não-germinação ou morte das plântulas. É evidente que a presença dos fertilizantes de leguminosas promoveu algum tipo de efeito antagônico à germinação e/ou desenvolvimento das plântulas de rúcula, principalmente quando em contato direto com as sementes. Esse efeito não ficou evidente no tratamento com cama de aviário incorporada, pois apenas um dos vasos estava sem plântulas. A causa do não-nascimento ou morte das plântulas não pode ser claramente explicada pelas observações realizadas, mas permitem a elaboração de três hipóteses: 1. faltou água pra o desenvolvimento inicial das plântulas, pois os vasos foram irrigados até a capacidade de vaso (Item 3.2), calculada para a terra sem a adição dos fertilizantes orgânicos, quando adicionados, a capacidade de retenção de água aumentou, devido a elevada higroscopicidade desses fertilizantes, mais elevada ainda para os fertilizantes de leguminosas, desse modo mais água deveria ser adicionada para se atingir a capacidade de vaso. Associada a esta suposição a liberação de substâncias orgânicas osmoticamente ativas, principalmente K, próximas as sementes reduziu o potencial de água no solo, dificultando a absorção de água pelas sementes e/ou plântulas; 2. a atividade biológica dos microrganismos do solo, logo após a adição dos fertilizantes orgânicos, foi tão elevada que promoveu uma alta demanda biológica de oxigênio (DBO) no solo dificultando a respiração das raízes; 3. durante a decomposição dos fertilizantes orgânicos, substâncias com potencial efeito fitotóxico foram liberadas ao solo, prejudicando ou inibindo a germinação e o estabelecimento das plântulas.

É claro que a restrição hídrica, a alta DBO e a liberação de substâncias fitotóxicas podem ocorrer ao mesmo tempo, pois estão fortemente associadas à taxa de decomposição dos fertilizantes. Segundo Almeida et al. (dados não publicados) a taxa de respiração basal do solo, média, durante os seis primeiros dias após incorporação dos fertilizantes de mucuna cinza e de gliricídia é 1,6 vezes maior do que após incorporação da cama de aviário e 8,5 vezes a do controle. Essa maior taxa de respiração significa maior decomposição, DBO e liberação de produtos intermediários da decomposição, que de acordo com Camargo et al. (2001) podem acumular-se no solo e afetar negativamente o desenvolvimento de plantas. Ácidos orgânicos voláteis alifáticos monocarboxílicos de cadeia curta e baixo peso molecular tais como fórmico, acético, propiônico e butírico, produzidos durante a decomposição de resíduos orgânicos, possuem elevado potencial fitotóxico (Camargo et al., 2001). De modo geral, materiais orgânicos de fácil decomposição produzem maiores quantidades de ácidos do que materiais mais resistentes (Harper & Lynch, 1981; Camargo et al., 2001). Dada a sua volatilidade, possuem curta vida média na solução, porém, são produzidos de forma contínua pela reciclagem microbiana (Sposito, 1989).

Aos sete DAS, as mudas do experimento, foram cuidadosamente removidas e agrupadas com as mudas dos vasos adicionais, sendo realizado transplântio de 6 a 8 mudas para os vasos experimentais. Aos 21 DAS, com as plantas já bem estabelecidas, foi efetuado desbaste, deixando-se quatro plantas vaso⁻¹. As mudas replantadas se estabeleceram muito bem, não sendo observado nenhum efeito antagônico ao seu desenvolvimento.

Os resultados sugerem que os fertilizantes de mucuna cinza e de gliricídia assim que incorporados ao solo têm a capacidade de afetar a germinação e o estabelecimento de plântulas de rúcula, devido a uma série de fenômenos relacionados com a elevada taxa de decomposição inicial desses fertilizantes. Ao longo do tempo com a queda da velocidade de decomposição, diminuição da concentração de substâncias fitotóxicas no solo, e o surgimento da lamela média nas raízes, que pode ‘filtrar’ a solução do solo antes de entrar no xilema, parecem boas explicações à ausência de efeito fitotóxico após transplântio das mudas.

3.1.2 Avaliações realizadas a partir da colheita (40 DAS)

Não houve interação entre os fatores ($p > 0,05$), fontes orgânicas de N e tecnologias de adubação, para as variáveis MS, AF, NF, N, P e Mg, sendo suas médias organizadas na Tabela 5, dentro dos níveis dos fatores e do tratamento controle. Enquanto para MF, K e Ca, foi detectada interação, sendo organizadas na Tabela 6, dentro dos desdobramentos das interações e do tratamento controle.

Furlani (2004) relata que para um ótimo crescimento a demanda de N, P, K, P, Ca e Mg pelas plantas esta dentro da faixa de concentração de (em g kg⁻¹ de matéria seca): 20-50, para N e K; 2-5 para P; 10-50, para Ca; e 15-35 para Mg. Nesse sentido, os teores de P, K e Ca ficaram dentro da faixa adequada em todos os tratamentos, Mg ficou muito acima, e N, conforme o esperado, foi encontrado em níveis adequados somente nos tratamentos do fatorial (Tabela 5), revelando que os fertilizantes orgânicos contribuíram de forma significativa para provisão de N à rúcula. A Tabela 7 mostra que N foi o nutriente que mais colaborou para o aumento da MF e AF (Tabela 6 e 5, respectivamente), por ter apresentado correlação positiva e altamente significativa entre essas variáveis ($r > 0,70$; $p < 0,001$). Intrigantemente, a produção de MS não esteve tão bem correlacionada com teor de N ($r = 0,47$).

Tabela 5. Valores médios de massa seca (MS), área foliar (AF) e teores de N, P e Mg na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹.

Fator	Nível	MS (g)	AF (cm ²)	NF (n°)	N	P (g kg ⁻¹)	Mg
Fertilizante Orgânico	Mucuna cinza	11,4	1431,2	39,5	22,6b	3,3	6,5
	Gliricídia	11,4	1521,7	41,8	25,6a	3,1	6,7
	Cama de aviário	10,8	1440,0	39,0	22,2b	3,5	6,5
<i>p</i>		0,1293 ^{ns}	0,0733 ^{ns}	0,2069 ^{ns}	0,0015 ^{**}	0,8615 ^{ns}	0,5305 ^{ns}
Tecnologia de Adubação	Cobertura	11,2	1403,2b	39,4	21,4b	3,3	6,5
	Incorporação	11,2	1525,4a	40,8	25,6a	3,3	6,6
<i>p</i>		0,8343 ^{ns}	0,0012 ^{**}	0,2880 ^{ns}	0,0000 ^{***}	0,3812 ^{ns}	0,4567 ^{ns}
Controle		6,0	666,9	33,4	17,1	3,8	6,9
<i>p</i> (Fatorial vs Controle)		0,0000 ^{***}	0,0000 ^{***}	0,0008 ^{***}	0,0000 ^{***}	0,0165 [*]	0,1222 ^{ns}
CV (%)		6,3	6,9	9,4	8,9	13,4	6,8

^{ns}Não significativo. *, ** e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Letras minúsculas comparam médias, dentro dos fatores, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Valores médios da massa de massa fresca (MF) e teores de K e Ca na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹.

Fator	Nível	MF (g)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)	
		Tecnologia de Adubação		Tecnologia de Adubação		Tecnologia de Adubação	
		Cobertura	Incorporação	Cobertura	Incorporação	Cobertura	Incorporação
Fertilizante Orgânico	Mucuna cinza	78,7Cb	90,7Ba	29,5 Ba	31,3 Aa	16,0 Aa	13,6 Bb
	Gliricídia	91,7Aa	94,9Aa	26,4 Bb	32,8 Aa	14,8 Aa	16,3 Aa
	Cama de aviário	85,5Ba	87,2Ba	32,6 Aa	29,9 Aa	14,5 Aa	14,0 Ba
Controle		37,7		24,3		16,8	
<i>p</i> (Fatorial vs Controle)		0,0000***		0,0000***		0,0097**	
CV (%)		5,2		9,2		9,7	

** e *** Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Letras maiúsculas comparam as médias de cada variável na coluna e as minúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Matriz de correlação de *Pearson*, entre as variáveis: massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), porcentagem de matéria seca (%MS), superfície específica (SE) e teores de N, P, K, Ca e Mg na matéria seca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹.

Variáveis	MF	MS	AF	NF	%MS	SE	N	P	K	Ca
MS	0,94***									
AF	0,98***	0,91***								
NF	0,61***	0,55***	0,59***							
%MS	-0,89***	-0,68***	-0,89***	-0,60***						
SE	0,65***	0,39***	0,73***	0,43***	-0,87***					
N	0,70***	0,47**	0,73***	0,50**	-0,85***	0,85***				
P	-0,46**	-0,50**	-0,41**	-0,37*	0,31*	-0,07 ^{ns}	-0,20 ^{ns}			
K	0,57***	0,53***	0,56***	0,21 ^{ns}	-0,51***	0,37*	0,45**	-0,29*		
Ca	-0,36***	-0,42**	-0,35*	-0,31*	0,23 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,49**	-0,16 ^{ns}	
Mg	-0,27**	-0,38*	-0,22 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,66***	-0,16 ^{ns}	0,79***

^{ns}Não-significativo. *, ** e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*, respectivamente.

Furlani (2004) atesta que quando o suprimento de N às plantas não é adequado, o crescimento é limitado, ocorrendo também mudanças características na morfologia da planta, tais como redução do comprimento, largura e espessura das folhas. Esta afirmativa pôde ser observada pela menor produção de MF (Tabela 6), MS, AF e NF (Tabela 5). Além disso, verificou-se que o aumento do conteúdo de N promoveu maior estímulo à produção de MF em relação à de MS, demonstrada pela correlação negativa entre N e %MS ($r=-0,85$) (Tabela 7; Figura 1). Tendência inversa foi observada na correlação entre N e SE ($r=0,85$), que mostra que quanto maior o conteúdo de N maior a SE (Tabela 7; Figura 2). As variáveis %MS e SE foram as que melhor se correlacionaram com o teor de N na matéria seca da parte aérea da rúcula e, portanto, as melhores indicadoras do conteúdo desse nutriente.

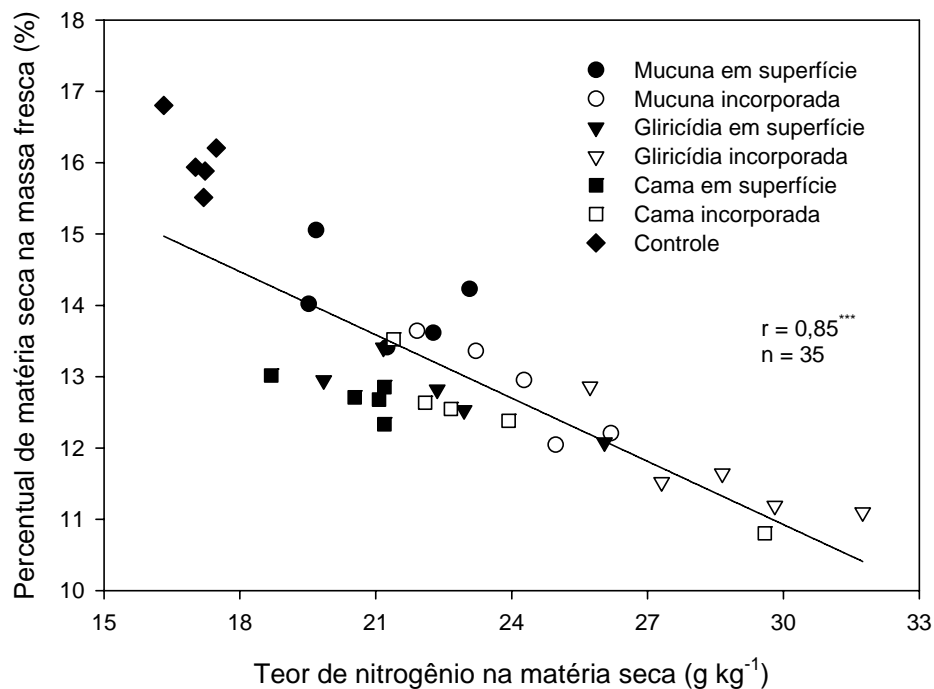


Figura 1. Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do teor de nitrogênio na matéria seca. *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*.

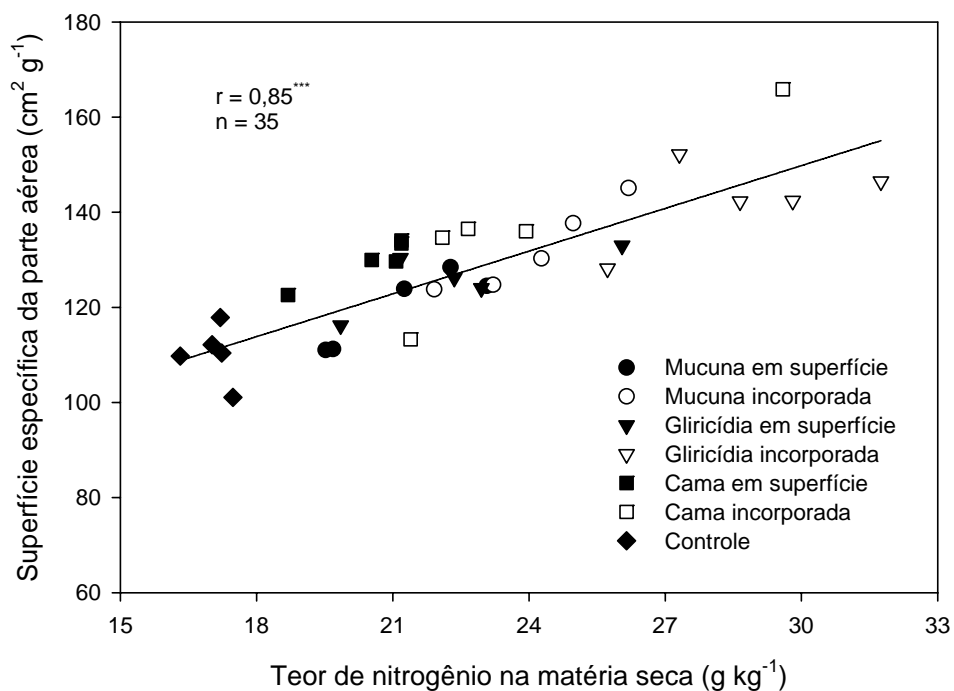


Figura 2. Superfície específica da parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹ em função do teor de nitrogênio na matéria seca. *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*.

Verificou-se que o fertilizante de gliricídia foi o que proporcionou os maiores teores de N na matéria seca (Tabela 5) e produção de MF (Tabela 6), sendo também o que proporcionou os maiores acúmulos de N na planta (Figura 3a). A incorporação dos fertilizantes orgânicos propiciou maior acúmulo de N na parte aérea da rúcula (Figura 3b).

Em relação à eficiência das adubações, a Figura 4a mostra que em média 18,6% do N do fertilizante de gliricídia foram absorvidos pela cultura, contra 15,4% do fertilizante de mucuna cinza, e 13,6% da cama de aviário. Observou-se que a incorporação dos fertilizantes orgânicos promoveu maior recuperação de N (18,1%) do que quando aplicado em cobertura (13,6%) (Figura 4b), um aumento de eficiência na ordem de 32,4%. Em virtude disso, a maiores teores e acúmulos de N na parte aérea da rúcula (Tabela 5 e Figura 3b, respectivamente), e consequentemente, maiores produções de MF (Tabela 6) e AF (Tabela 5), foram alcançadas, com a incorporação dos fertilizantes. Janzen & Mcginn (1991), Guiller & Cadisch (1995) e Larsson et al. (1998) enfatizam que a incorporação dos resíduos de leguminosas reduz as perdas de N por volatilização de amônia, enquanto Kiehl (1985), De-Polli & Chada (1989) e Carvalho (2005) afirmam que a resíduos incorporados são decompostos mais rapidamente do que àqueles deixados em superfície. Ambas as alternativas podem justificar a maior provisão de N para a rúcula proporcionada pela incorporação dos fertilizantes orgânicos.

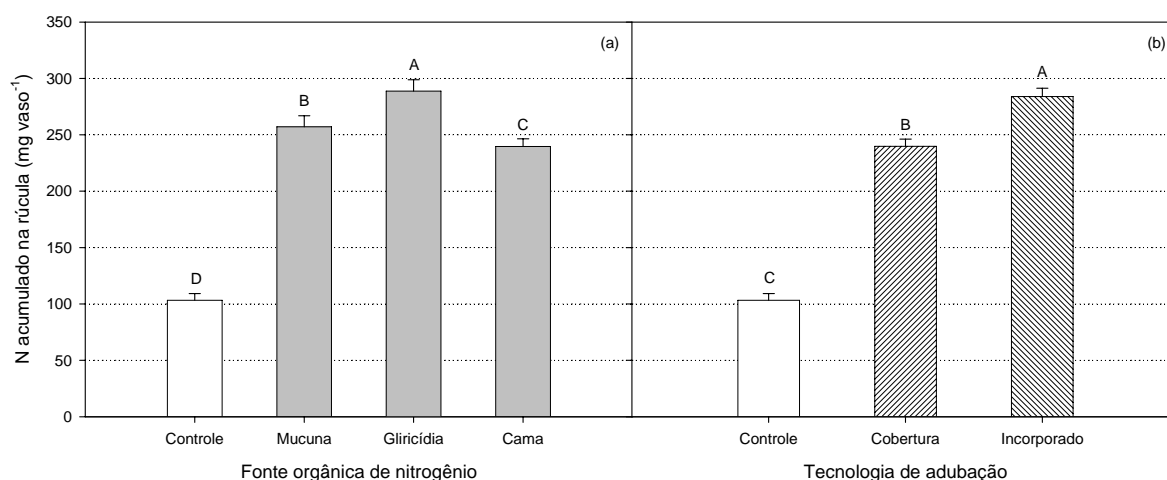


Figura 3. Nitrogênio acumulado na parte aérea de quatro plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do tratamento controle e dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Tecnologias de adubação. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

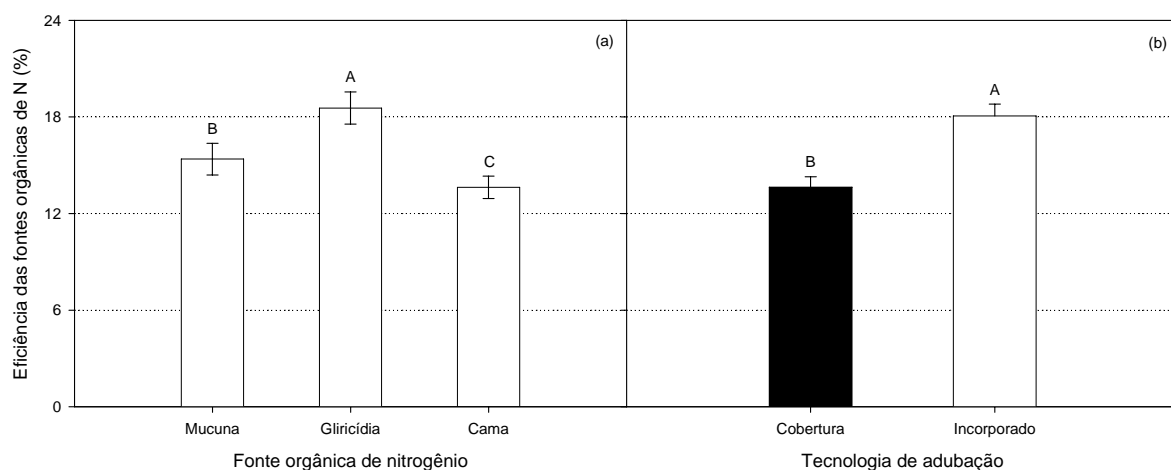


Figura 4. Porcentagem de recuperação do N dos fertilizantes orgânicos quatro plantas de rúcula vaso⁻¹ em função dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Tecnologias de adubação. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.2 Segundo Experimento

3.2.1 Avaliações realizadas antes da colheita

Semelhante ao experimento anterior, a emergência das plantas se iniciaram aos três DAS. Entretanto, quando foi avaliado o número de plantas sobreviventes (aos seis DAS), não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos ($p=0,2937$). Em média, 10,3 plantas sobreviveram, o que representa taxa média de sobrevivência de 86,1%, em relação ao número de sementes plantadas.

Até os 20 DAS às plantas encontravam-se bem vistosas (em todos os vasos), a partir de então, verificou-se que várias plantas estavam tendendo a murchar, mesmo com água na capacidade de vaso. Algumas foram retiradas do experimento, sendo realizadas avaliações laboratoriais, para se detectar a causa do problema. Verificou-se que as plantas apresentavam galhas radiculares, sintomas característicos de uma doença fúngica, muito comum no Rio de Janeiro, denominada hérnia das crucíferas/brássicas (Maringoni, 2005). Certamente, o microclima na casa de vegetação e nos vasos – temperaturas amenas, alta umidade relativa, condição de sombreamento, irrigação quase que diária até próximo da capacidade de vaso –, favoreceu o desenvolvimento da doença.

O Anexo E apresenta foto do experimento aos quatro DAS e o Anexo F aos 15 DAS.

3.2.1 Avaliações realizadas após a colheita (36 DAS)

A colheita estava seria realizada aos 40 DAS, conforme o experimento anterior. Porém, com a severidade da doença, e problemas com o sistema de refrigeração da casa de vegetação, aos 36 DAS, a colheita teve que ser antecipada para esta data. No dia seguinte, as raízes das plantas de rúcula foram retiradas da terra, e classificadas visualmente, em uma escala de 0 a 5, com base na severidade da doença – incidência de galhas. Verificou-se que todos os tratamentos apresentavam galhas, com grande variação entre as parcelas ($CV = 64,7\%$), não sendo detectada diferença significativa entre os tratamentos ($p=0,3915$). Esses resultados indicam que não ocorreu preferência da doença por este ou aquele tratamento. Para avaliação dos atributos referentes à parte aérea, foram descartados os vasos que tinham menos de cinco plantas vaso⁻¹ (12 vasos).

Não foi detectada interação entre os fatores ($p>0,05$). Em função disso, as médias das variáveis foram organizadas dentro dos fatores fertilizantes orgânicos e dose de N-total (Tabela 8). Verificou-se que a produção de massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF) e teor de N na matéria seca foram marcadamente influenciadas pela adubação nitrogenada, fato evidenciado pelos resultados significativos dos contrastes entre controle e fatorial ($p<0,05$). Entretanto, não foi detectada diferença significativa entre as fontes de N avaliadas ($p>0,05$), que demonstrou equidade de resposta da rúcula em relação às adubações com os fertilizantes de leguminosas e com cama de aviário. Por outro lado, a maior dose de N aplicada, proporcionou ganhos significativamente superiores para MF, AF, NF e N. No entanto, seguindo a mesma tendência do primeiro experimento, a produção de MS não diferiu significativamente entre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada.

Verificou-se que as médias de MF (78,7-94,9 g), AF (1431,2-1521,7 cm²) e NF (39-42 folhas), no primeiro experimento, foram bem próximas às apuradas no segundo: MF (79,4-98,3 g), AF (1410,3-1708,7 cm²) e NF (41-44 folhas). Em contrapartida, as médias de MS (10,8-11,4 g) apuradas no primeiro experimento foram superiores as do segundo (6,5-7,3 g), enquanto os teores de N foram menores para aquele (22,2-25,6 g kg⁻¹) em relação a este (32,1-37,0 g kg⁻¹), o que sugere um efeito de diluição do N na MS.

Tabela 8. Valores médios de massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF) e teor de N na matéria seca da parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹.

Fator	Nível	MF	MS	AF	NF	N
		----- (g) -----		(cm ²)	(n ^o)	(g kg ⁻¹)
Fertilizante Orgânico	Crotalária	86,3	6,8	1508,0	41	33,0
	Mucuna cinza	79,4	6,5	1410,3	41	32,1
	Arachis	90,9	7,3	1631,2	43	34,1
	Gliricídia	87,1	6,8	1552,2	42	37,0
	Leucena	88,3	6,5	1605,8	42	36,7
	Cama de aviário	98,3	7,1	1708,7	44	35,2
<i>p</i>		0,0707 ^{ns}	0,8201 ^{ns}	0,0786 ^{ns}	0,5624 ^{ns}	0,8092 ^{ns}
Dosagem de N-total (g vaso ⁻¹)	0,5	82,4b	6,6	1454,3b	41b	31,8b
	1,0	95,3a	7,2	1695,6a	44a	37,6a
<i>p</i>		0,0007 ^{***}	0,1375 ^{ns}	0,0002 ^{***}	0,0080 ^{**}	0,0189 [*]
Controle		52,0	5,0	937,9	38	23,5
<i>p</i> (Controle vs Fatorial)		0,0000 ^{***}	0,0150 [*]	0,0000 ^{***}	0,0494 [*]	0,0118 [*]
CV (%)		11,8	17,5	11,2	8,9	20,7

^{ns}Não-significativo. *, ** e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Letras minúsculas comparam as médias do fator dosagem de N-total, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Mais uma vez, as variáveis %MS e SE foram as que melhor se correlacionaram com o teor de N da matéria seca (Tabela 9), corroborando para a hipótese de que estas duas variáveis são boas indicadores do conteúdo de N na rúcula. Maiores teores de N estimulam o aumento da área foliar e da massa de matéria fresca em proporções superiores do acréscimo de matéria seca, o que sugere folhas maiores e menos espessas quanto maior for o conteúdo de N no tecido da parte aérea. A Figura 5 mostra a distribuição dos dados de %MS e SE do segundo experimento, em função do teor de N. A Figura 6 mostra essas mesmas distribuições com dados dos dois experimentos de rúcula. É interessante salientar que mesmo havendo diferenças drásticas entre as condições ambientais nas quais os experimentos foram desenvolvidos, datas de colheita, aspectos fitossanitários, teores de N e massa matéria seca a tendência das correlações se mantiveram, mostrando a robustez dessas correlações. No experimento com alface (Capítulo II, dados não publicados), verificou-se que o teor de N na matéria seca da parte aérea também apresentou correlação negativa e altamente significativa com %MS ($r = -0,92$; $p < 0,0000$).

Tabela 9. Matriz de correlação de *Pearson*, entre as variáveis massa fresca (MF), massa seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), porcentagem de matéria seca (%MS), superfície específica (SE) e teor de N na matéria seca da parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹.

Variáveis	MF	MS	AF	NF	%MS	SE
MS	0.78 ^{***}					
AF	0.98 ^{***}	0.75 ^{***}				
NF	0.76 ^{***}	0.71 ^{***}	0.77 ^{***}			
%MS	-0.45 ^{**}	0.18 ^{ns}	-0.47 ^{**}	-0.17 ^{ns}		
SE	0.31 [*]	-0.31 [*]	0.39 ^{**}	0.11 ^{ns}	-0.94 ^{***}	
N	0.32 [*]	-0.24 ^{ns}	0.36 [*]	0.07 ^{ns}	-0.87 ^{***}	0.89 ^{***}

^{ns}Não significativo. *, ** e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*, respectivamente.

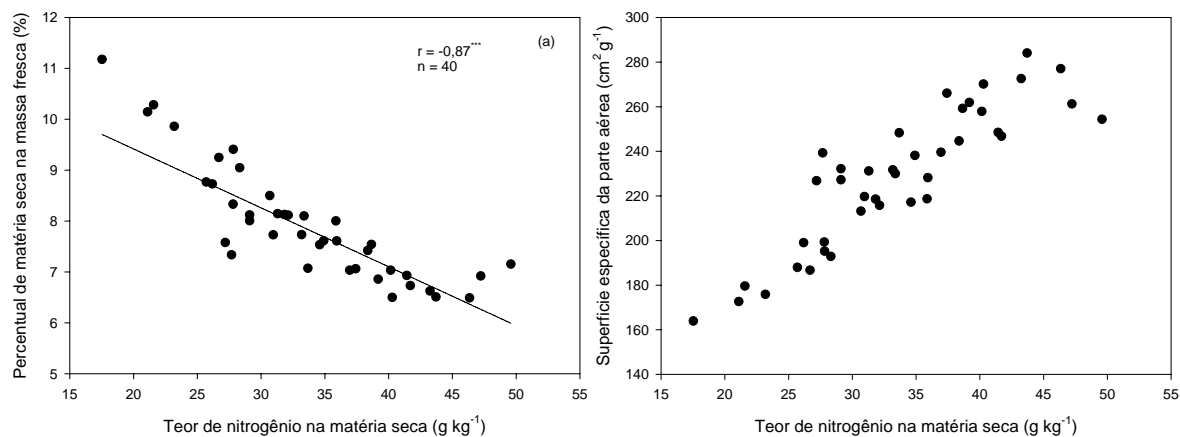


Figura 5. Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea (a) e superfície específica da parte aérea (b) de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do teor de nitrogênio na matéria seca. Dados do segundo experimento. ***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*.

Figura 6. Percentual de matéria seca na massa fresca da parte aérea (a) e superfície específica da parte aérea (b) das plantas de rúcula, em função do teor de nitrogênio na matéria seca. Dados do primeiro e segundo experimento. ***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t de *Student*.

Conforme o esperado, as plantas tratadas com os fertilizantes de leguminosas ou com cama de aviário, acumularam mais N do que aquelas que não receberam adubação nitrogenada (Figura 7a). Verificou-se que as plantas adubadas com mucuna cinza obtiveram acúmulo de N inferior às adubadas com os demais fertilizantes orgânicos. Entretanto, quando avaliada a quantidade de N derivada dos fertilizantes orgânicos, não foi detectada diferença significativa (Figura 8a). Em média 16,3% do N contido nos fertilizantes foram repassados para parte aérea da rúcula. Por outro lado, quando a avaliação foi realizada em relação às doses de N fornecidas, verificou-se que a menor dosagem (0,5 g vaso⁻¹ de N-total) proporcionou maior recuperação relativa de N dos fertilizantes orgânicos (Figura 8 b), sendo, portanto, mais eficiente na provisão de N à rúcula. Esses resultados estão de acordo com a literatura (Crews & Peoples, 2005), que relata que a eficiência da adubação nitrogenada é inversamente proporcional à dose de N aplicada.

Apesar da incidência de doença, a quantidade média de N acumulada na parte aérea da rúcula e o percentual médio de N proveniente do fertilizante orgânico, com a dosagem de 1,0 g vaso⁻¹ de N no segundo experimento (262,2 mg de N vaso⁻¹ e 14,8%), foram sensivelmente superiores às médias dos tratamentos do experimento anterior (239,8 mg de N vaso⁻¹ e 13,6%) que receberam mesma dosagem de N e aplicação dos fertilizantes em cobertura. Entretanto, quando comparadas às médias dos tratamentos que tiveram os fertilizantes incorporados (283,9 mg de N vaso⁻¹ 18,1% do N oriundo dos fertilizantes orgânicos), verificou-se maior eficiência desta tecnologia de adubação.

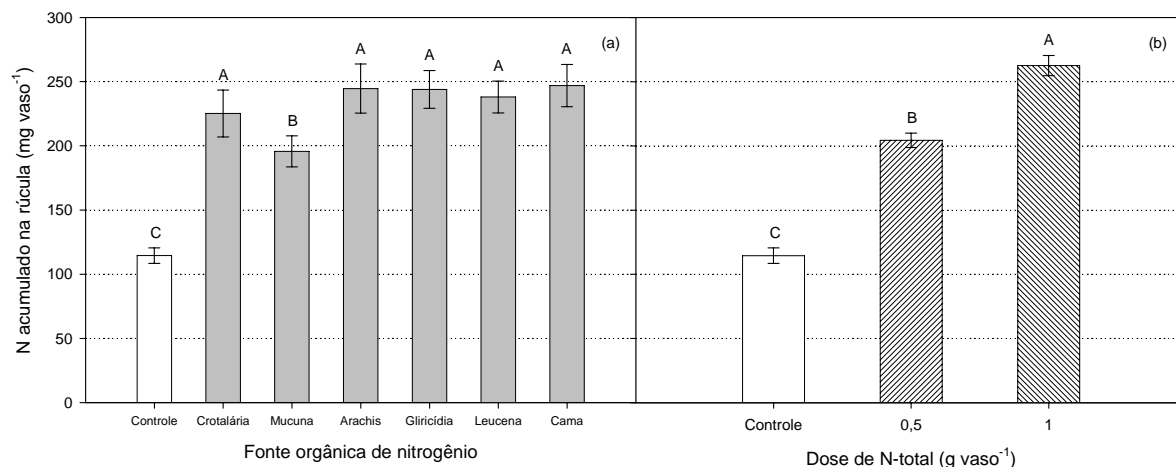
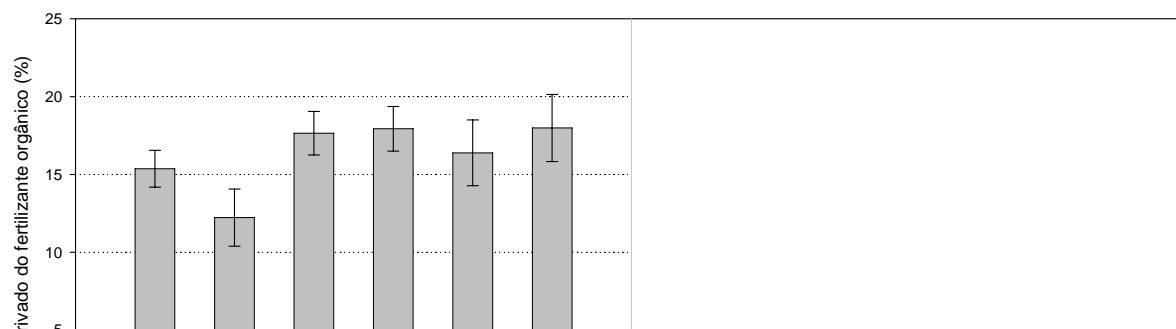


Figura 7. Nitrogênio acumulado na parte aérea de cinco plantas de rúcula vaso⁻¹, em função do tratamento controle e dos fatores: (a) Fontes orgânicas de nitrogênio e (b) Doses de N-total. Barras sobre as colunas representam o erro padrão da média. Letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



para as mais variadas culturas, com eficiência superior ao do esterco bovino e de compostos orgânicos, pode-se inferir que os fertilizantes de leguminosas têm potencial de tornar a unidade de produção auto-suficiente para esse macronutriente. A auto-suficiência seria uma questão de dimensionamento do sistema, com respeito à produção, armazenamento e uso dos fertilizantes de leguminosas. Todavia, a produção dos fertilizantes de leguminosas envolve custos que precisam ser ponderados, visando a sustentabilidade do agroecossistema.

4 CONCLUSÕES

4.1 Referentes ao Primeiro Experimento

1. O fertilizante de gliricídia é mais eficiente do que o de mucuna cinza, que por sua vez é mais eficiente do que a cama de aviário industrial para provisão de N à rúcula.
2. A incorporação dos fertilizantes orgânicos melhora a eficiência da adubação nitrogenada, e conseqüentemente a produção de massa fresca e área foliar.
3. A incorporação dos fertilizantes de leguminosas pode promover efeito antagônico à germinação e/ou estabelecimento de plântulas de rúcula.

4.2 Referentes ao Segundo Experimento

1. Os fertilizantes de leguminosas possuem potencial similar ao da cama de aviário industrial para a provisão de N à rúcula.
2. Adubações orgânicas em dosagens menores são mais eficientes, quanto ao percentual de recuperação do N aplicado, do que adubações mais pesadas. No entanto, maiores acúmulos de N e índices de produtividade são esperados com dosagens mais elevadas.
3. A adubação em cobertura com fertilizantes de leguminosas não promove efeito antagônico a germinação e estabelecimento de plantas de rúcula.

4.3 Conclusão Geral

1. Os fertilizantes de leguminosas são fontes promissoras de N para os sistemas orgânicos de produção, capazes de substituir a cama de aviário industrial, sob dosagem equivalente de N-total.

CONCLUSÕES GERAIS

1. A tecnologia dos fertilizantes de leguminosas é tecnicamente possível em pequena ou grande escala, possibilitando a estocagem de grandes quantidades de adubo verde em espaços relativamente pequenos.
2. Os fertilizantes de leguminosas possuem características químicas, físicas e biológicas que lhes permitem a comercialização como fertilizantes orgânicos simples Classe A, além de poderem ser utilizados como matéria prima para produção de fertilizantes organominerais ou composto orgânico.
3. Os fertilizantes de leguminosas têm potencial comparável ao da cama de aviário industrial para provisão de N às culturas. Esse potencial assume relevância, tendo em vista que a cama de aviário, uma das fontes orgânicas de N mais eficazes e utilizadas em sistemas orgânicos de produção, sofre uma série restrições quanto ao seu emprego em agricultura orgânica.
4. A manutenção da fertilidade do solo pela aplicação sistemática dos fertilizantes de leguminosas, contribui de forma significativa para melhoria de atributos químicos e biológicos do solo, estimulando a atividade microbiana e promovendo acúmulo de N-total e C-total no solo.
5. A implementação sistematizada da tecnologia, aumenta a autonomia do sistema quanto ao uso de N, podendo garantir a auto-suficiência para esse macronutriente, sobretudo, em sistemas orgânicos de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. L. de. **Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. 1991. 192p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- ALMEIDA, D. L. de.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D. **Sistema integrado de produção agroecológica: um a experiência de pesquisa em agricultura orgânica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 37p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 169).
- ALVES, B. J. R.; BAÊTA, A. M.; ALVES, J. V. **Protocolo da Embrapa Agrobiologia para análise de nitrogênio em adubos orgânicos, solo e tecidos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 17p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 100).
- ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.
- ARIAS, G. & FERNANDES, M. B. de M. (Ed.). **Ciência & ética**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 99p.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Instituto Agrônomo. Boletim, 78).
- BRANDÃO, F. **Manual do armazenista**. 2.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1889. 269p.
- BRASIL. Lei 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 dez. 2003. Seção 1, p.8.
- BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 jan. 2004, Seção 1, p.2.
- BREMNER, J. M. & MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. A.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.v. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624. (ASA. Agronomy, 9).
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.
- CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: DAROLT, M. R. (Org.). **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998. p.65-93. (IAPAR. Circular, 101).
- CAMARGO, F. A. de O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. de A.; ROSSIELLO, R. O. P. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, v.31, p.523-529, 2001.

CAMPBELL, C. A.; MYERS, R. J. K.; CURTIN, D. Managing nitrogen for sustainable crop production. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.42, p.277-296, 1995.

CARVALHO, A. M. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo:** composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. 2005. 167p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças:** fisiologia e manuseio. 2.ed. rev. amp. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CORDEIRO, L. Fixação do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 2004. p.76-93.

COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CREWS, T. E. & PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.72, p.101-120, 2005.

DEMETER. **Normas de produção Demeter**. Botucatu: Associação Brasileira de Agricultura Biodinâmica, 2006. 49p.

DE-POLLI, H. & CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solos de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.287-293, 1989.

DE-POLLI, H.; COSTANTINI, A.; ROMANIUK, R.; PIMENTEL, M. S. Chloroform fumigation-extraction labile C pool (microbial biomass C “plus”) shows high correlation to microbial biomass C in argentinian and brazilian soils. **Ciencia del Suelo**, no prelo, 2007.

DIEM, B. & GODBOLD, D. L. Potassium, calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus trichocarpa*. **Plant and Soil**, v.155/156, p.411-414, 1993.

ELLA, A.; JACOBSEN, C.; STÜR, W. W.; BLAIR, G. Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. **Tropical Grasslands**, v.23, p.28-34, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESPINDOLA, J. A. A. **Avaliação de leguminosas herbáceas perenes usadas como cobertura viva do solo e sua influência sobre a produção de bananeira (*Musa* spp.)**. 2001. 144p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. C. de S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49p. (Coleção Saber).

FAO/WHO. **Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods.** rev. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations/World Health Organization, 2001. (Codex Alimentarius. CAC/GL, 32).

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas.** 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 2.ed. rev. amp. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

FILLERY, I. R. P. The fate of biologically fixed nitrogen in legume-based dryland farming systems: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, p.361-381, 2001.

FOX, R. H.; MYERS, R. J. K. & VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. **Plant and Soil**, v.129, p.251-259, 1990.

FRANCISCO NETO, J. **Manual de horticultura ecológica: auto-suficiência em pequenos espaços.** São Paulo: Nobel, 2002. 141p.

FRANKENBERGER, W. T. Jr. & ABDELMAGID, H. M. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soils. **Plant and Soil**, v.87, p.257-271, 1985.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.395-405, 1999.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 2004. p.40-75.

GALLOWAY, J. N. Anthropogenic mobilization of sulphur and nitrogen: immediate and delayed consequences. **Annual Reviews, Energy Environment**, v.21, p.261-293, 1996.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 653p.

GILLER, K. E. & CADISCH G. Future benefits from biological nitrogen fixation: an ecological approach to agriculture. **Plant and Soil**, v.174, p.255-277, 1995.

GÓMEZ, M. E.; MOLINA, C. H.; MOLINA, E. J.; MURGUEITIO, E. Producción de biomasa en seis ecotipos de matarratón (*Gliricidia sepium*). **Livestock Research for Rural Development**, v.2, n.2, 1990.

HARPER, S. H. T. & LYNCH, J. M. The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.32, p.1057-1062, 1981.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Nitrogen release from prunings of legume hedgerow trees in relation to quality of the prunings and incubation method. **Plant and Soil**, v.160, p.237-248, 1994.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Manipulation of quality and mineralization from legume tree prunings by varying nitrogen supply. **Plant and Soil**, v.176, p.149-160, 1995.

HANDAYANTO, E.; GILLER, K. E.; CADISCH, G. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.1417-1426, 1997.

HAYNES, R. J. The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In: HAYNES, R. J. (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Orlando: Academic Press, 1986. p.52-176.

HORWATH, W. R. & PAUL, E. A.. Microbial biomass. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. v.2. Madison: Soil Science Society of America. 1994. p.753-773. (SSSA. Series, 5)

IBD – Instituto Biodinâmico. **Diretrizes para o padrão de qualidade Orgânico Instituto Biodinâmico**. Botucatu: Associação de Certificação Instituto Biodinâmico, 13.ed., 2006. 92p.

IFOAM – International Federation of Organic Agriculture Movements. **The IFOAM norms for organic production and processing**. Bonn: IFOAM, 2005.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: the scientific basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (Ed.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881p.

KATOUNIAM, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 384p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1985. 492p.

JACKSON, L. E. Fates and losses of nitrogen from a nitrogen-15-labeled cover crop in an intensively managed vegetable system. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.1404–1412, 2000.

JANZEN, H. H. & MCGINN, S. M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.291-297, 1991.

JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. The effects of biocidal on metabolism in soil – V: a method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.

LADEIRA, M. M.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. de O. S.; BRITO, S. C.; SÁ, L. A. P. de. Avaliação do feno de *arachis pintoi* utilizando o ensaio de digestibilidade *in vivo*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.2350-2356, 2002.

LARSSON, L.; FERM, M.; KASIMIR-KLEMEDTSSON, A.; KLEMEDTSSON, L. Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.51, p.41-46. 1998.

LEAL, M. A. A. **Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas**. 2006. 133p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MACKENZIE, F. T.; VER, L. M.; SABINE, C.; LANE, M.; LERMAN, A. C. N, P, S global biogeochemical cycles and modeling of global change. In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. T; CHOU, L. (Ed.). **Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. p.1-61.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Aubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 7, de 17 de maio de 1999. Estabelece as normas de produção, tipificação, processamento, envase, distribuição, identificação e de certificação da qualidade para os produtos orgânicos de origem vegetal e animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 maio 1999, Seção 1, p.11.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 set. 2005, Seção 1, p.12.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 27, de 5 de junho de 2006. Concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jun. 2006, Seção 1, p.15.

MARINGONI, A. C. Doenças das crucíferas. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed). **Manual de fitopatologia**. 2.v. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p.285-291.

MELLO, J. C.; DIETRICH, R.; MEINERT, E. M.; TEIXEIRA, E.; AMANTE, E. R. Efeito do cultivo orgânico e convencional sobre a vida-de-prateleira de alface americana (*Lactuca sativa* L.) minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.418-426, 2003.

OGLESBY, K. A. & FOWNES, J. H. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. **Plant and Soil**, v.143: p.127-132, 1992.

OLIVEIRA, N. G. de; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com “cama” de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.112-117, 2006.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L. de; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L. T. M. da. **Agricultura orgânica: quando o passado é futuro**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n.15, 2002. p.3-34.

PALM, C. A. & SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.83-88, 1991.

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F.; LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? **Plant Soil**, v.174, p.3-28. 1995.

PEREIRA, A. J. **Produção de biomassa aérea e sementes de *Crotalaria juncea* a partir de diferentes densidades populacionais e épocas do ano**. 2004. 130p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PIETERS, A. J. **Green manuring: principles and practice**. New York: John Wiley & Sons, 1927. 356p.

PLOEG, R. R.; BÖHM, W.; KIRKHAM, M. B. History of soil science: on the origin of the theory of mineral nutrition and the law of the minimum. **Soil Science Society of American Journal**, v.63, p.1055-1062, 1999.

POULSEN, N.; SORENSEN, J. N.; JOHANSEN, A. S. Influence on growth conditions on the value of crisphead lettuce: 2. Weight losses during storage as affected by nitrogen, plant age and cooling system. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.46, p.13-18, 1994.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. de M. de; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.153-174.

REY, A. C. & IBRAHIM, M. Bancos de proteína de poró (*Erythrina berteorana*) e madero negro (*Gliricidia sepium*). **Agroforesteria en las Américas**, v.2, n.8, 1995.

RICCI, M. dos S. F.; CASALI, V. W. D.; CARDOSO, A. A.; RUIZ, H. A. Teores de nutrientes em duas cultivares de alface adubadas com composto orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.1035-1039, 1995.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.45-57, 2006.

SANTOS, R. H. S.; SILVA, F.; CASALI, V. W. D.; CONDÉ, A. R. Conservação pós-colheita de alface cultivada com composto orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.521-525, 2001.

SOUZA, R. S.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.215-252.

SPARLING, G.; VOJVODI-VUKOVI, M.; SCHIPPER, L. A. Hot water soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1469-1472, 1998.

SPARLING, G. P. & WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and super (14) C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.337-343. 1988.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. Oxford: Oxford University, 1989. 222p.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.329-335, 1988.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TURAZI, C. M. V.; JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, S. A.; BORGIO, L. A. Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.65-70, 2006

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VAN SOEST, P. J. & WINE, R. H. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **Journal of the Association of Official Agricultural Chemists**, v.51, p.780-785, 1968.

VAROQUAUX P.; MAZOLLIER J.; ALBAGNAC, G. The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh-cut butterhead lettuce. **Postharvest Biology and Technology**, v.9, p.127- 139, 1996.

WALKLEY, A & BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29-38, 1934.

WILLER, H. & YUSSEFI, M. (Ed.). **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends**. Bonn: International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM); Ackerstrasse: Germany and Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), 2007. 252p.

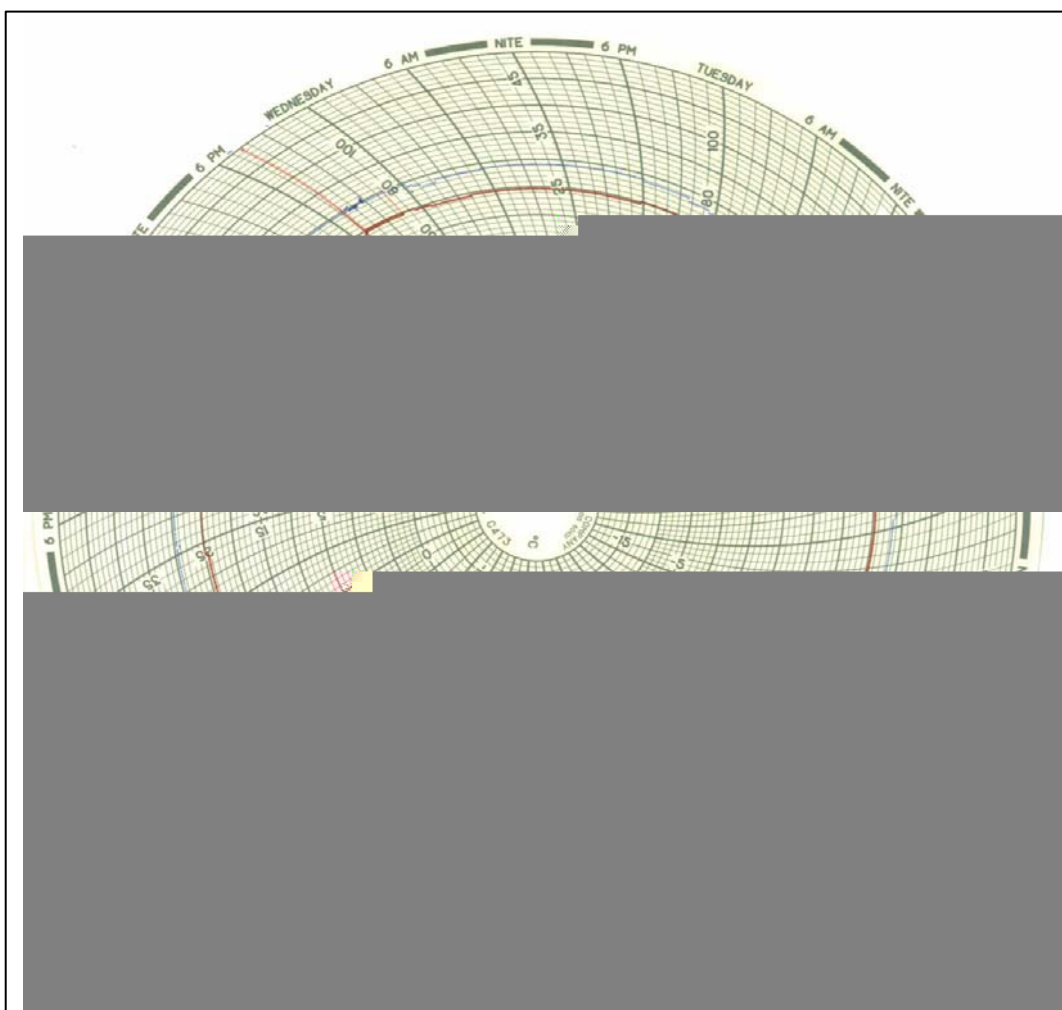
WITT, C.; GAUNT, J. L.; GALICIA, C. C.; OTTOW, J. C. G.; NEUE, H. U. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.510-519, 2000.

WORLD FOOD SUMMIT. **Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.

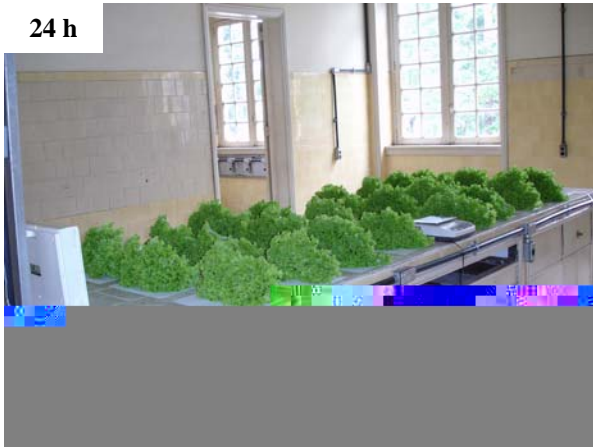
ANEXOS



Anexo A. Importância do processamento da crotalária para redução do volume da biomassa. O antes e depois do processamento da biomassa em picadora de forragem.



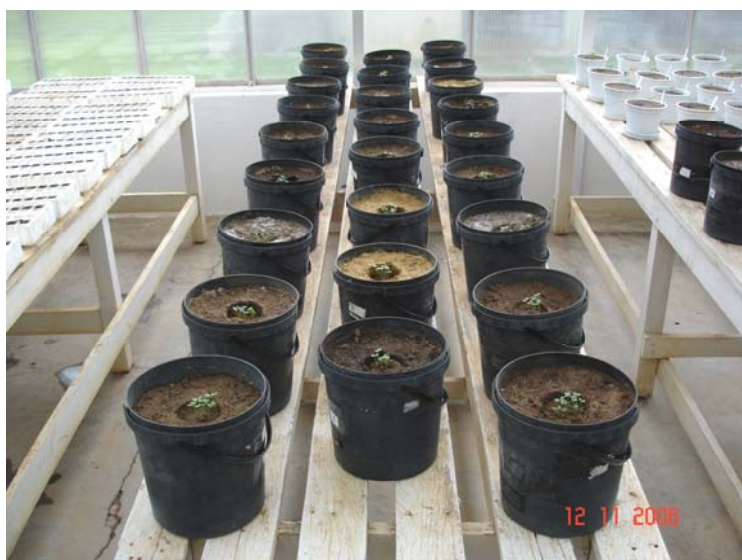
Anexo B. Registros do termohigrógrafo durante o período de condução do experimento de pós-colheita de alface. Aparelho localizado sobre a bancada do experimento.



Anexo C. Fotos ilustrativas do experimento de pós-colheita de alface ‘Vera’. Números apresentados no canto superior esquerdo correspondem à hora aproximada a partir da colheita.



Anexo D. Detalhe do isolamento da área de semeadura, um dia após a semeadura da rúcula* .



Anexo E. Plântulas de rúcula aos quatro dias após a semeadura* .



Anexo F. Plantas de rúcula aos 15 dias após a semeadura* .

*Fotos do segundo experimento com rúcula (*Eruca sativa* Mill. cv. Cultivada).