

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES - PROTEN**

**MANEJO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA PARA
CULTURAS OLEAGINOSAS E ALIMENTÍCIAS
NA REGIÃO SEMIÁRIDA**

DÁRIO COSTA PRIMO

**RECIFE - PE - BRASIL
DEZEMBRO - 2012**

DÁRIO COSTA PRIMO

**MANEJO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA PARA
CULTURAS OLEAGINOSAS E ALIMENTÍCIAS
NA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares-PROTEN, do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Aplicação de Radioisótopos na Agricultura e Meio Ambiente.

ORIENTADOR. Professor Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes (DEN/UFPE)

COORIENTADOR. Professor Dr. Tácio Oliveira da Silva (DEA/UFS)

**RECIFE - PE - BRASIL
DEZEMBRO – 2012**

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

P953m Primo, Dário Costa.
Manejo da adubação orgânica para culturas oleaginosas e alimentícias na região semiárida / Dário Costa Primo – Recife: O Autor, 2012.
113f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Coorientador: Prof. Dr. Tácio Oliveira da Silva.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Energia Nuclear. Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN – CRCN-NE/CNEN, 2012.
Inclui Referências.

1. ¹⁵N. 2. Nutrientes. 3. Produtividade. 4. Solo. 5. Substâncias Húmicas
I. Menezes, Rômulo Simões Cezar (Orientador) II. Silva, Tácio Oliveira da
(Coorientador) III. Título.

621.48 CDD (22. ed.)

UFPE/BIBCTG 2013/034

MANEJO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA PARA CULTURAS OLEAGINOSAS
E ALIMENTÍCIAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA

Dário Costa Primo

APROVADA EM: 18.12.2012

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes- DEN/UFPE

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – DEN/UFPE

Prof. Dr. José Carlos Batista Dubeux Júnior – DZ/UFRPE

Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira – IF- Sertão Pernambucano/Campos Petrolina

Prof. Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva – EMBRAPA

Visto e permitida a impressão

Coordenadora do PROTEN/DEN/UFPE

DEDICATÓRIA

*Dedico a minha irmã Isabel Costa Primo de Queiroz
e ao amigo Tácio Oliveira da Silva.*

AGRADECIMENTOS

Ao glorioso Deus pela permissão em realizar este trabalho e por ter me confortado nas horas difíceis e solitárias. À UFPE, Universidade Federal de Pernambuco pela sua importância no meu aprendizado, crescimento pessoal e profissional, sendo um lugar que sempre me trará as melhores lembranças. À FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pela concessão da bolsa de doutorado. Ao Prof. Dr. Rômulo Menezes, meu orientador, pela oportunidade de ingresso no doutorado, pela confiança, conselhos, orientações, amizade, confiança, incentivo e conceitos passados, que me fizeram refletir sobre o pensamento científico, pela sua generosidade e paciência. Ao meu coorientador Professor Dr. Tácio da Silva, pelas valiosas sugestões para realização deste trabalho, pelo incentivo e confiança depositada em mim e pela nossa amizade. Aos Pesquisadores da Embrapa Instrumentação de São Carlos - SP, meu supervisor Dr. Wilson Tadeu, a Dra. Débora Milori e ao Dr. Marcelo Simões pela realização das análises espectroscópicas, pelo apoio durante minha estadia em São Carlos e, sobretudo, pelo excelente convívio e amizade constituída. À minha irmã Isabel de Queiroz por tudo que fez por mim mesmo estando distante. Ao amigo irmão Hiran Marcelo, pelo convívio e amizade constituída. Ao inesquecível Prof. Dr. Everardo Sampaio, pela atenção de sempre, auxílio, sugestões e correções na parte escrita da tese. Ao Prof. Dr. José Carlos Dubeux Júnior, pelas grandes sugestões e contribuições. Ao Prof. Dr. Fabio Oliveira, pelas sugestões e auxílio durante todo curso. Ao Prof. Dr. Romildo Alves pelos conselhos e informações fornecidas. A Dra. Karina Guedes pelas contribuições e a amiga Patrícia Cabral, pela realização das análises no laboratório e pela nossa amizade. Aos amigos do grupo, Claudemiro Júnior, Júlio César Martins, Emmanuel Dutra, Eric Xavier, Kennedy de Jesus, André Luiz, Tiago Althoff, Mona Nagai, Taciana Santos, Priscila Lima e Laerte Amorim pelo espírito de solidariedade, ajuda e companheirismo constante no decorrer do curso. Aos amigos de São Carlos, Cleber Hilário, Lílian Martelli e Renan Romano. Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo do DEN, Gilberto do Nascimento, Claudenice Maria e Pedro Antonio Filho pelo auxílio constante e pela nossa amizade. Aos amigos da Vila Maria Rita, Tapeorá - PB, Erandi, Silvano, Raimunda e Paula, pelo apoio e atenção nas coletas de campo. Aos vigilantes do DEN, Edivaldo, Josenildo e Antonio pela atenção constante. Aos amigos Bruno Viana, Renisson Nepunuceno e Jackson Nunes pela excelente amizade, conselhos e visitas constantes no apartamento. Aos demais amigos do PROTEN/DEN indistintamente, pelo saudável convívio e amizades constituídas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
INTRODUÇÃO GERAL.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

CAPITULO I

Dinâmica do ¹⁵N no sistema solo-planta após adubação com gliricídia e/ou Esterco marcados.....	19
--	-----------

Resumo.....	20
Abstract.....	21
Introdução.....	22
Material e Métodos.....	23
Resultados e Discussão.....	26
Conclusões.....	33
Agradecimentos.....	33
Referências Bibliográficas.....	33

CAPÍTULO 2

Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano.....	38
--	-----------

Resumo.....	39
Abstract.....	40
Introdução.....	41
Material e Métodos.....	443
Resultados e Discussão.....	46
Conclusões.....	52
Agradecimentos.....	53
Referências Bibliográficas.....	53

CAPÍTULO 3

Biomassa e extração de nutrientes pelo milho submetido a diferentes manejos de adubos orgânicos na região semiárida.....	56
---	-----------

Resumo.....	57
Abstract.....	58
Introdução.....	59
Material e Métodos.....	60
Resultados e Discussão.....	63
Conclusões.....	67
Agradecimentos.....	67
Referências Bibliográficas.....	68

CAPÍTULO 4

Acúmulo de nutrientes e produtividade de biomassa por oleaginosas consorciadas sob adubação com esterco e gliricídia.....	70
Resumo.....	71
Abstract.....	72
Introdução.....	73
Material e Métodos.....	74
Resultados e Discussão.....	77
Conclusões.....	82
Agradecimentos.....	83
Referências Bibliográficas.....	83

CAPÍTULO 5

Estabilidade da matéria orgânica de um Neossolo Flúvico adubado com esterco bovino e gliricídia.....	86
Resumo.....	87
Abstract.....	88
Introdução.....	89
Material e Métodos.....	91
Resultados e Discussão.....	97
Conclusões.....	108
Agradecimentos.....	109
Referências Bibliográficas.....	109

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1	Precipitação mensal total da Estação Agroecológica Maria Rita, no município de Taperoá, PB, no ano de 2009.....	43
----------	---	----

Capítulo 3

Figura 1	Precipitação mensal total da Estação Agroecológica Maria Rita, no município de Taperoá, PB, no ano de 2009.....	61
----------	---	----

Capítulo 4

Figura 1	Precipitação total mensal nos anos 2010 e 2011 do município de Taperoá, PB.....	75
----------	---	----

Capítulo 5

Figura 1	Precipitação anual de 2006 a 2011 do município de Taperoá, PB.....	92
Figura 2	Figura 2 (A). Porcentagem de carbono orgânico total (COT); (B) H_{FIL} da MOS obtido a partir da técnica de fluorescência induzida por laser (FIL) em amostras de um Neossolo Flúvico.....	99
Figura 3	Índice de humificação de AH em solução por espectroscopia de fluorescência de luz, (A) emissão (Milori, 2002), (B) varredura sincronizada (Kalbitz, 1999) e (C) emissão (Zsolnay, 1999).....	101
Figura 4	A. correlação entre os índices de humificação do AH em solução por emissão (Milori, 2002) e varredura sincronizada (Kalbitz, 1999). B Índice de humificação de AH por UV-vis razão E_4/E_6	102
Figura 5	Espectros de absorbância na região do UV/Vis de AH (A) e de extrato de AF (B) dos diferentes tratamentos.....	103
Figura 6	Espectros de infravermelho médio de AH.....	104
Figura 7	A. Espectros RPE do AH e B índice de humificação do AH por RPE.....	105
Figura 8	Espectros de RMN dos AH dos distintos sistemas de adubação.....	106

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1	Biomassa (B) e concentração de N na biomassa (N) na parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão cultivadas sem adubo ou adubadas com esterco ou gliricídia, em três ciclos consecutivos.....	26
Tabela 2	Acúmulo de N (AN) e proporção deste N proveniente das fontes marcadas, gliricídia ou esterco (% Ndpf), na parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão cultivadas sem adubo ou adubadas com esterco ou gliricídia, em três ciclos consecutivos.....	28
Tabela 3	Quantidade de N (mg) derivado do solo e quantidade de N (mg) fixado pelo feijão utilizando o algodão como planta de referência (QNfix solo).....	29
Tabela 4	Recuperação real e aparente do N aplicado com rama de gliricídia e com esterco pela parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão.....	31

Capítulo 2

Tabela 1	Composição físico-química do Neossolo Flúvico na camada de 0-20 cm antes da aplicação dos adubos e plantio do milho.....	44
Tabela 2	Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.....	44
Tabela 3	Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na biomassa de plantas de milho aos 30, 60 e 90 dias após o plantio e, ou, aplicação de adubos orgânicos em Neossolo Flúvico.....	47
Tabela 4	Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na biomassa (palhada) e grãos de milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico Taperoá-PB.....	51
Tabela 5	Produtividade de biomassa (Prod. Biomassa), de grãos (Prod. Grãos), total (Prod. Total) e índice de colheita (I.C.) do milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico. Taperoá-PB, 2009.....	52

Capítulo 3

Tabela 1	Composição físico-química do Neossolo Flúvico antes da aplicação dos adubos e plantio do milho.....	62
Tabela 2	Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.....	63
Tabela 3	Produtividade de biomassa (Prod. Biomassa), de grãos (Prod. Grãos), total (Prod. Total) e índice de colheita (I.C.) do milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico Taperoá - PB, 2009.....	64

Tabela 4	Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em biomassa e grãos de milho em função de diferentes modos de aplicação de adubos orgânicos em Neossolo Flúvico Taperoá-PB, 2009.....	66
----------	---	----

Capítulo 4

Tabela 1	Composição físico-química do Neossolo Flúvico antes da aplicação dos adubos e plantio do girassol e do algodão.....	76
----------	---	----

Tabela 2	Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.....	77
----------	--	----

Tabela 3	Produção de biomassa (palhada), produção de grãos, produção total (palhada e grãos) e índice de colheita do girassol em dois anos consecutivos após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico em Tapera, Paraíba.....	79
----------	---	----

Tabela 4	Produtividade de biomassa, produtividade de grãos, total e índice de colheita do algodão em dois anos consecutivos após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico.....	81
----------	--	----

Tabela 5	Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em biomassa total de algodão e girassol em dois anos consecutivos sob diferentes sistemas de adubação orgânica.....	82
----------	---	----

Capítulo 5

Tabela 1	Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.....	94
----------	--	----

Tabela 2	Regiões espectrais em ppm e porcentagem de alifaticidade e aromaticidade do AH obtidos por RMN.....	107
----------	---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Ácido Fúlvico
AH	Ácido Húmico
CONAB	Companhia Nacional de Desenvolvimento
COT	Carbono Orgânico Total
C/N	Razão Atômica de Carbono e Nitrogênio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DEN	Departamento de Energia Nuclear
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FIL	Fluorescência Induzida por Laser
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
H_{FIL}	Grau de Humificação
IHSS	Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas
Mg	Megagrama
MO	Matéria Orgânica
MOL	Matéria Orgânica Leve
MOS	Matéria Orgânica do Solo
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RLO	Radical Livre Orgânico
RPE	Ressonância Paramagnética Eletrônica
SHs	Substâncias Húmicas
UV/Vis	Ultravioleta-Visível
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar

MANEJO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA PARA CULTURAS OLEAGINOSAS E ALIMENTÍCIAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA

Autor: Dário Costa Primo

Orientador: Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

RESUMO – O uso e o manejo adequado do solo com adição de materiais orgânicos influenciam diretamente a sua qualidade e são aspectos fundamentais no desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Avaliou-se, em experimentos de campo e casa de vegetação a influência do manejo de adubos orgânicos de diferentes qualidades sobre o desenvolvimento vegetativo, a nutrição mineral, a produtividade de culturas oleaginosas e alimentícias e as alterações na qualidade da matéria orgânica (MOS) de um Neossolo Flúvico no semiárido da Paraíba no Nordeste do Brasil. Um primeiro experimento em casa de vegetação, avaliou o potencial e a eficiência no fornecimento de nitrogênio de esterco caprino e biomassa seca de gliricídia (*Gliricídia sepium*) marcados com ^{15}N , em plantios sucessivos de algodão, milho ou feijão macassar. As produtividades de biomassa e os acúmulos de N foram maiores com a aplicação de gliricídia, mas, as recuperações do N aplicado nas duas fontes foram semelhantes ao final dos 3 ciclos. Em experimentos de campo por seis anos consecutivos (2006 - 2011), foram avaliadas a extração de nutrientes, a produção de biomassa, a produção de grãos e o índice de colheita em culturas anuais, sob diferentes formas de aplicação de esterco bovino, biomassa fresca de marmeleiro (*Croton sonderianus*) e de gliricídia e a qualidade da MOS. No experimento 1 em 2009 a aplicação de gliricídia em superfície promoveu maior acúmulo de nutrientes na biomassa do milho e, incorporada de forma isolada e combinada com esterco ambos incorporados aumentou a produtividade do milho. No experimento 2 em 2009 as aplicações da biomassa de gliricídia e do esterco em superfície promoveram maiores produtividades de biomassa e de grãos de milho e maiores acúmulos de N P e K. No experimento 3 em 2010 e 2011, com algodão e girassol consorciados, o manejo com aplicação de esterco incorporado antes do plantio e de gliricídia em superfície aos 45 dias após o plantio resultou em maior acúmulo de nutrientes (N, P e K) no algodão e no girassol em 2010. Em 2011, a aplicação de gliricídia incorporada promoveu maior acúmulo de N, P e K no girassol. A aplicação da gliricídia em superfície aos 45 dias combinada com esterco incorporado antes do plantio em 2010, e em superfície, em 2011 aumentou a produtividade do algodão. O uso apenas da gliricídia incorporada, em 2010 e 2011, indicou ser o sistema de manejo mais promissor para o girassol. Objetivando avaliar as principais características estruturais, o grau de humificação da MOS e das frações húmicas do solo do experimento 1, realizaram-se medidas por Fluorescência Induzida por Laser (FIL) em amostras de solo (profundidade 0-20 cm) e por fluorescência de absorção de luz em extrato de ácido fúlvico e húmico. Realizaram-se medidas na fração AH por espectroscopia de ultravioleta na região do visível, Infravermelho Médio com Transformada de Fourier (FTIR), Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) e Ressonância Magnética Nuclear (RMN). A FIL, em amostra de solo inteiro, indicou que o manejo, com aplicação de esterco bovino incorporado e gliricídia em superfície contribuiu para o aumento do índice de humificação da MOS, enquanto que na fração AH, o maior índice de humificação observado por fluorescência de absorção de luz, por emissão e varredura sincronizada, ocorreu no sistema com gliricídia em superfície. Por RPE e RMN, os tratamentos gliricídia incorporada, esterco incorporado mais gliricídia em superfície, indicaram maior aromaticidade do ácido húmico. No geral, observou-se que a biomassa de gliricídia aplicada isolada ou combinada com esterco bovino, favorece o aumento da produtividade de culturas anuais e também influencia no aumento do grau de humificação do carbono principalmente quando aplicada de forma incorporada no solo.

Palavras-chave: ^{15}N , plantas, nutrientes, produtividade, solo, substâncias húmicas.

MANAGEMENT OF ORGANIC FERTILIZATION FOR OILSEEDS AND FOOD CROPS IN THE SEMIARID REGION

Author: Dário Costa Primo

Leader: Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

ABSTRACT - The use of organic matter as a management tool for improving soil quality is a fundamental aspect of sustainable agriculture. In this study, we used both field and greenhouse experiments to evaluate how organic fertilizers of different qualities influence vegetation growth, mineral nutrition, the productivity of oilseed and food crops, and the quality of organic matter (MOS) in Fluvic Entisol Paraiba, semiarid region in Northeastern Brazil. In the first greenhouse experiment, we used goat manure and gliricidia fertilizer (*Gliricidia sepium*) labeled with ^{15}N to assess how much nitrogen is supplied, and how efficiently, in successive crops of cotton, corn, or beans. Biomass productivity and N accumulation were higher for the crops receiving gliricidia, but after three cycles of application, recoveries of both treatment categories were similar. Two field experiments were carried out in Paraíba Taperoá, over five consecutive years (2006 – 2011), to evaluate nutrient uptake, biomass productivity, grain yield, quality of organic matter (MOS), and harvest index for annual crops to which different fertilizers were applied: manure, fresh quince (*Croton sonderianus*) biomass, and gliricidia and quality of MOS. In the first experiment (2009), corn crops fertilized with gliricidia showed a greater accumulation of nutrients; and corn productivity was higher, both with gliricidia alone and in combination with manure. In the second experiment (2009), the crops fertilized with gliricidia and with surface applications of manure showed higher productivities of biomass and corn grain as well as higher accumulations of N, P, and K. In the third experiment (2010 and 2011), cotton and sunflower were intercropped. In 2010, manure was incorporated into the soil before planting, and gliricidia was added as a surface application 45 days after planting. This treatment resulted in a greater accumulation of nutrients (N, P, and K) in both crops. In 2011, gliricidia was also incorporated into the soil. With this treatment, sunflower showed the greatest accumulation of N, P, and K. For cotton, a combination of manure incorporated before planting and surface application of gliricidia 45 days later in 2010 increased productivity; and surface application of gliricidia in 2011 also increased productivity. The use the only incorporated gliricidia in 2010 and 2011, indicated to be the most promising management system to sunflower. Experiment 1, we analyzed the main structural characteristics, degree of humification of SOM, and humic fractions of soil. These were measured by Laser Induced Fluorescence (LIF) in whole soil samples (from the 0- to 20-cm depth) and by fluorescence of light absorption and extract fulvic acid and humic. The HA fraction was measured by Ultraviolet spectroscopy in the visible region, Medium Infrared Fourier Transform (FTIR), Electron Paramagnetic Resonance (EPR), and Nuclear Magnetic Resonance (NMR). The LIF, in whole soil sample, results indicated that the treatment consisting of manure incorporated in surface and gliricidia, contributed to a rise in the MOS humification index, while the HA fraction the more index humification observed by fluorescence of light absorption and emission by sweep synchronized, in the system occurred with gliricidia in surface. By NMR and EPR the treatments gliricidia incorporated, manure incorporated more gliricidia in surface indicated higher aromaticity of humic acid. Overall, our study results showed that application of gliricidia, whether alone or combined with manure, increased the productivity of annual crops and also increased the degree of carbon humification especially when incorporated into the soil.

Keywords: ^{15}N , plant, nutrients, productivity, soil, humic substances.

INTRODUÇÃO GERAL

Em sistemas agrícolas onde não há entrada de nutrientes de fontes externas, a matéria orgânica do solo (MOS) é uma das principais fontes de nutrientes, como é o caso da agricultura de subsistência da região semiárida do Nordeste do Brasil (TIESEN et al., 2001). Nesses sistemas, a adubação orgânica é uma prática com potencial para manter a fertilidade dos solos e aumentar a produtividade das culturas de maneira viável. Embora a maioria dos adubos orgânicos possua os nutrientes necessários à nutrição das plantas, em geral, não são suficientes para atender toda a demanda, pela pequena quantidade disponível ou por terem baixas concentrações de certos nutrientes.

Além disso, o interesse pela aplicação no solo de resíduos de origem animal/vegetal e subprodutos orgânicos industrializados tem aumentado, principalmente pelos altos custos dos adubos minerais, mas também pelo interesse em sistemas de produção com menor uso de insumos industrializados (WIETHOLTER, 1994). Assim, é necessário fazer uma avaliação sobre a eficiência de fontes orgânicas de nutrientes para as culturas agrícolas.

O esterco é a principal fonte de nutrientes, principalmente N e P, e de matéria orgânica nas áreas de produção de culturas de subsistência no semiárido nordestino (MENEZES e SALCEDO, 2007). Entretanto, devido a baixa disponibilidade de esterco nas propriedades, o uso de plantas como adubo verde tem sido investigado como alternativa para aumentar a oferta de adubos orgânicos. A gliricídia (*Gliricídia sepium* Jacq. Walp) é uma leguminosa arbórea de usos múltiplos com diversas características que conferem potencial para uso como adubo verde no semiárido, como: alta produção de biomassa rica em nutrientes para adubação verde, biomassa com alta quantidade para forragem, adaptação para uso como cerca viva, presença de um sistema radicular perene, boa cobertura e proteção do solo e alta fixação biológica de nitrogênio (BARRETO e FERNANDES, 2001).

Outra estratégia de aumento da disponibilidade de adubos orgânicos nas propriedades seria a do uso de plantas nativas como adubo verde. Neste caso, a biomassa de folhas frescas de marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.) também pode ser utilizada para adubação orgânica de forma incorporada ou em superfície, nos sistemas de produção agrícola. Assim, esses adubos orgânicos são alternativas para se trabalhar com adubação orgânica em agricultura de subsistência na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Além das técnicas tradicionais empregadas para avaliar práticas de adubação, o uso de técnicas isotópicas pode contribuir para gerar informações sobre a eficiência do uso de fontes alternativas de nutrientes. Dentre essas, tem-se o uso do ^{15}N , que possibilita a diferenciação da eficiência de fontes nitrogenadas, e, com isso, tornam precisos os trabalhos relacionados à dinâmica de N, principalmente em sistemas agrícolas (FIGUEIREDO et al., 2005) possibilitando modificar o manejo das fontes com maior precisão.

Em estudos da dinâmica da MOS em agroecossistemas, o entendimento da dinâmica do nitrogênio é de fundamental importância, uma vez que esse é frequentemente o elemento mais limitante ao crescimento vegetal (SCHLESINGER, 1997). Ultimamente na região Nordeste tem-se aumentado o uso de adubos orgânicos e, em menor escala, de adubos verdes, mas são poucas as informações científicas sobre o manejo dos diversos tipos desses adubos. Assim, é necessário tanto o desenvolvimento quanto a divulgação de práticas eficientes de manejo, que esclareçam aspectos como a preparação dos adubos, a forma e o momento de incorporação, o efeito residual e o potencial de uso de ramas de espécies arbóreas como adubo verde, entre outros.

A viabilidade do uso de adubos orgânicos na região semiárida depende muito da rentabilidade das culturas agrícolas adotadas. Nesse sentido, o cultivo de oleaginosas em consórcio com culturas alimentícias tem sido proposto como uma alternativa para a geração de renda em propriedades agrícolas familiares nessa região. Várias espécies vegetais têm sido propostas para a produção de óleo nas condições edafo-climáticas da região semiárida, como pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L), girassol (*Helianthus annuus* L). Entretanto, apesar de serem divulgadas como alternativas viáveis para o semiárido, não existem dados sobre o desenvolvimento da cultura do girassol. Especificamente, são escassos os dados sobre a nutrição mineral de oleaginosas em sistemas orgânicos de produção na região semiárida.

Ao avaliarem-se os efeitos das práticas de manejo sobre a MOS, deve-se levar em consideração não somente os seus teores, mas também a sua qualidade. Em outras palavras, é importante determinar qual proporção dessa matéria orgânica é lábil, ou seja, de rápida decomposição e liberação de nutrientes para as plantas e qual proporção é mais recalcitrante e, conseqüentemente, irá permanecer por mais tempo no solo e, com isso proporcionar outros efeitos benéficos para seu funcionamento. Pesquisas sobre a quantidade e qualidade da MOS envolvem principalmente técnicas de fracionamento, as quais podem empregar tanto processos físicos quanto químicos.

Com base na hipótese científica, de que a época e a forma de aplicação de adubos, de diferentes qualidades como esterco, marmeleiro e gliricídia aumenta a produtividade das culturas oleaginosas e/ou alimentícias, modifica os atributos físicos e químicos do solo e, aumenta o estoque ou a qualidade e estabilidade da matéria orgânica, o objetivo geral deste estudo, consistiu em avaliar o manejo de adubos orgânicos de diferentes qualidades e seus efeitos sobre a produtividade de culturas oleaginosas e alimentícias, estoque e qualidade da matéria orgânica, e modificações nas características físicas e químicas de um Neossolo Flúvico na região semiárida da Paraíba.

Para atingir o objetivo geral foram conduzidos dois experimentos em campo e um experimento em casa de vegetação que resultaram em cinco capítulos desta tese com os seguintes objetivos específicos: 1) Avaliar o potencial de fornecimento de nitrogênio de esterco e de ramas de gliricídia, marcados com ^{15}N , em plantios sucessivos de algodão, milho ou feijão macassar; 2) analisar a contribuição da forma e época de aplicação de adubos orgânicos de diferentes qualidades sobre a absorção de nutrientes e a sua relação com a produtividade do milho cultivado em um Neossolo Flúvico na região semiárida do estado da Paraíba; 3) Avaliar a influência do manejo de diferentes adubos orgânicos sobre a dinâmica de absorção de nutrientes e produtividade de grãos pelo milho na região semiárida da Paraíba; 4) avaliar quais os efeitos da aplicação de esterco e/ou gliricídia sobre a produtividade do algodão e girassol em sistema de consórcio na região semiárida da Paraíba; e 5) avaliar as principais características estruturais, bem como o grau de humificação da MO de um Neossolo Flúvico, após seis anos de adubação com gliricídia incorporada e em superfície do solo com e sem combinação com esterco bovino incorporado em cultivo de culturas anuais na região semiárida do estado da Paraíba

O capítulo 1, intitulado “Dinâmica do ^{15}N no sistema solo-planta após adubação com gliricídia e/ou esterco marcados”, discute a eficiência e o potencial da adubação orgânica na liberação de N utilizando esterco e ramas de gliricídia, marcados com ^{15}N , em plantios sucessivos de algodão, milho ou feijão macassar. Nesse caso, buscou-se verificar, com o uso de técnicas isotópicas, as diferenças na dinâmica da decomposição dos adubos com diferentes qualidades.

O capítulo 2, “Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano” buscou conhecer, em condição de campo o potencial de acúmulo de nutrientes e a produtividade do milho sob diferentes manejos de adubação com esterco e gliricídia. O capítulo 3, “Biomassa e extração de nutrientes pelo milho submetido a diferentes manejos de adubos orgânicos na região semiárida” indica,

também, em condição de campo, o acúmulo de nutrientes e produtividade do milho cultivado com esterco, gliricídia e marmeleiro, adicionados em superfície ou incorporados ao solo.

O capítulo 4, “Acúmulo de nutrientes e produtividade de biomassa por oleaginosas consorciadas sob adubação com esterco e gliricídia” trata da influência de diferentes formas de manejos de adubação com esterco e gliricídia, incluindo a época de aplicação dos adubos e também a combinação dos adubos com diferentes qualidades, sobre o acúmulo de nutrientes e produtividade de biomassa de algodão e girassol consorciados. E, finalmente, no capítulo 6, “Estabilidade da matéria orgânica de um Neossolo Flúvico adubado com esterco bovino e gliricídia”, avaliou-se a influência da adição do esterco e/ou gliricídia ao solo sobre a qualidade e estabilidade da MOS. Dentro deste contexto, espera-se com o presente estudo contribuir com novas informações sobre o manejo da adubação orgânica e, que possam subsidiar novas pesquisas sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, A.C.; FERNANDES, F.M. Cultivo de *Gliricídia sepium* e *Leucena leucocephala* e alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.4, n.7, p.1287-1293, 2001.

FIGUEIREDO, C.C.; RESK, D.V.S.; GOMES, A.C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, n.3, p.279-287, 2005.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. v.11, n.4, p.361-367, 2007.

SCHLESINGER, W.H. Biogeochemistry: An analysis of global change. Academic Press, San Diego, USA, 1997

TIESSEN, H., SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems v.61, n.1-2, p.99-103, 2001.

WIETHOLTER, S. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.29, n.5 p.713-724, 1994.

CAPÍTULO 1

DINÂMICA DO ^{15}N NO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS ADUBAÇÃO COM GLIRICÍDIA E/OU ESTERCO MARCADOS

DINÂMICA DO ^{15}N NO SISTEMA SOLO-PLANTA APÓS ADUBAÇÃO COM GLIRICÍDIA E/OU ESTERCO MARCADOS

RESUMO - O potencial de fornecimento de nitrogênio após adubação com esterco caprino e ramas de gliricídia, marcados com ^{15}N , foi avaliado em casa de vegetação em três plantios sucessivos de algodão, de milho ou de feijão macassar. Foram misturados oito gramas (equivalentes a 20 Mg ha^{-1}) do esterco (com $12,3 \text{ mg g}^{-1}$ de N) ou da gliricídia ($37,8 \text{ mg g}^{-1}$ de N) em 1 kg de solo colocado em cada pote. A coleta de cada ciclo de plantio foi feita 50 dias após a germinação, determinando-se biomassa, quantidade de N total e eficiências de recuperações pelas plantas do N aplicado. As biomassas e as quantidades totais de N no algodão e no milho, nos três ciclos foram maiores com a gliricídia, exceto o algodão no primeiro ciclo. No feijão, a biomassa foi maior com a gliricídia no primeiro e segundo ciclo e, as quantidades de N foram maiores com a gliricídia apenas no segundo ciclo. Houve elevada quantidade de N fixado no feijão no terceiro ciclo. As maiores proporções de nitrogênio derivado das fontes marcadas, nas três culturas ocorreram também com a gliricídia. A maior recuperação real do N aplicado foi obtida com a gliricídia nas três culturas apenas no primeiro ciclo. No segundo e terceiro ciclos, a recuperação foi maior com o esterco em todas as culturas. As recuperações reais do N da gliricídia nos três ciclos para o algodão, milho e feijão foram de 35, 27 e 41% respectivamente. Semelhantes as do esterco que foram de 37, 26 e 38% respectivamente. A recuperação aparente do N foi similar à recuperação real apenas para a cultura do milho e mostrou-se inadequada para as culturas do algodão e feijão.

Palavras - chave: eficiência de uso do nitrogênio, adubos, ciclos vegetativos, recuperação de N.

DYNAMICS OF ^{15}N IN THE SOIL-PLANT SYSTEM AFTER FERTILIZATION WITH LABELED GLIRICIDIA AND/OR MANURE

ABSTRACT - The potential supply of nitrogen in plants and soil following fertilization with ^{15}N -labeled goat manure and gliricidia prunings, was evaluated in a greenhouse experiments with three successive planting cycles of three crops: cotton, corn, and beans. Each pot contained 1 kg of soil into which was mixed 8 g (equivalent to 20 Mg ha^{-1}), of either manure (12.3 mg g^{-1} of N) or gliricidia (37.8 mg g^{-1} of N). Plants were harvested 50 days after germination and analyzed for biomass and total amount of N recovery. The biomass and total quantities of N in cotton and corn samples for all three cycles were higher in the plants treated with gliricidia except for cotton in the first cycle. For beans, biomass was higher for the gliricidia treated plants in the first and second cycles; the amount of N was higher in the gliricidia treated plants only in the second cycle. Was a high amount of fixed N by bean in the third cycle. In the first cycle, the largest proportions of libeled were found in the plants fertilized with gliricidia, for all three crops. In the second and third cycles, ^{15}N recovery was greater for the plants treated with manure, for all three crops. The average N recovery from gliricidia treated cotton, corn, and beans for the three planting cycles were 35%, 27%, and 41% respectively. Similar to the recoveries from the manure treated plants 37%, 26% and 38%, respectively. The apparent recovery of N was similar to real recovery only for corn and proved inadequate crops of cotton and bean.

Keywords: efficiency use of nitrogen, fertilizers, vegetative cycle, N recovery.

INTRODUÇÃO

O manejo da fertilidade do solo, principalmente do nitrogênio, é um dos fatores mais importantes para que as culturas agrícolas tenham maiores produtividades (BONFIM-DA-SILVA, 2005). O nitrogênio é, freqüentemente, o elemento mais limitante ao crescimento vegetal e sua dinâmica no sistema solo-planta é bastante complexa (SCHLESINGER, 1997). A forma mais eficiente de acompanhar esta dinâmica é utilizar fertilizantes marcados com ^{15}N (GAVA et al., 2006). Muito tem sido pesquisado sobre a incorporação de adubos minerais marcados em sistemas agrícolas com diversas culturas e situações ambientais (AXMANN e ZAPATA, 1990).

A técnica com o isótopo ^{15}N , tem se mostrado muito útil em estudos que visam procurar alternativas para aumentar a eficiência de uso do N da adubação, com ganhos na produtividade e redução de custos de produção, assim como impactos ambientais. Pesquisas com a incorporação de material orgânico marcado são menos comuns (GARZA et al., 2009), com a incorporação de esterco são poucas e com biomassa vegetal marcada são quase inexistentes, em decorrência da falta de maior conhecimento pelos cientistas na utilização da técnica.

A adubação com esterco é uma alternativa amplamente adotada para o suprimento de nitrogênio, em áreas de agricultura familiar e de agricultura orgânica, em todo o mundo (SEVERINO et al., 2006). Também na região semiárida do Nordeste do Brasil, o esterco é muito usado (SILVA et al., 2005; MENEZES e SALCEDO, 2007), de forma que a quantidade disponível é inferior à demanda potencial (GARRIDO et al., 2008).

Uma alternativa de suprimento adicional de N que vem crescendo, nesta região e em outras partes do mundo, é a incorporação de ramas arbóreas produzidas em sistemas agroflorestais (CARVALHO FILHO et al., 1997). Entre as árvores usadas neste sistema, uma das promissoras no Nordeste brasileiro é a leguminosa *Gliricídia sepium* Jacq. Walp (BARRETO E FERNANDES, 2001; PRIMO et al., 2012), introduzida da América Central, onde é amplamente usada, assim como em outras partes do mundo (MAFONGOYA et al., 2000), pois produz grande quantidade de biomassa, com alta concentração de N e rápida decomposição (MUNDUS et al., 2008).

Apesar da aplicação de esterco ou de ramas de leguminosas como adubo orgânico ser uma prática importante na condução das lavouras de agricultores da região semiárida, são bastante limitadas as informações sobre a eficiência da liberação de nitrogênio provenientes desses adubos (SEVERINO et al., 2006). Assim, objetivou-se neste estudo

avaliar o potencial de fornecimento de nitrogênio de esterco e de ramas de gliricídia, marcados com ^{15}N , em plantios sucessivos de algodão, milho ou feijão macassar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em potes na casa de vegetação do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Com delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições, sendo dois, com adubação orgânica (ramas de gliricídia e esterco caprino marcados com ^{15}N) e um tratamento testemunha sem adição dos adubos orgânicos e, três culturas (algodão, milho e feijão macassar) plantadas por três ciclos consecutivos de 50 dias cada ciclo.

O solo utilizado como substrato foi coletado da camada superficial (0 - 20 m) de um Neossolo Flúvico de textura média e declividade em torno de 2%, localizado na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá Paraíba, cujas coordenadas são 07°12'10,8" S e 036°49'42,6" W e altitude em torno de 520 m. O solo foi seco ao ar, passado em peneira de malha de 4 mm de abertura e porções de 1 kg foram pesadas e colocadas nos potes.

Subamostras do solo foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura para caracterização físico-química (EMBRAPA, 1997), sendo os resultados: pH em água = 6,7; N total = 0,50 g kg⁻¹; carbono orgânico total = 8,80 g kg⁻¹; capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 (T) = 6,4 cmol_c kg⁻¹; capacidade de troca de cátions efetiva (t) = 5,02 cmol_c kg⁻¹; P extraível = 299 mg kg⁻¹; K extraível = 0,25 cmol_c kg⁻¹; Ca extraível = 3,95 cmol_c kg⁻¹; Mg extraível = 0,62 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,10 cmol_c kg⁻¹; Al = 0,0 cmol_c kg⁻¹; Al + H = 1,32 cmol_c kg⁻¹; soma de bases (SB) = 4,92 cmol_c kg⁻¹; percentagem de saturação por bases (V) = 78,05 %; areia, silte e argila = 532, 203 e 265 g kg⁻¹, respectivamente.

No solo de cada pote, foram misturados oito gramas dos adubos orgânicos secos e moídos (equivalentes à adubação com cerca de 20 Mg ha⁻¹, considerando uma densidade aparente de 1,35 g cm⁻³ e a camada de 0-20 cm de solo). O esterco caprino e a gliricídia tinham abundância de ^{15}N de 1,987% e 4,214%, respectivamente, e teores de N de 12,3 e 37,8 g kg⁻¹ de N, correspondendo a adições de N equivalentes a cerca de 246 e 756 kg ha⁻¹, respectivamente.

As ramas de gliricídia foram obtidas de um cultivo prévio conduzido em casa de vegetação, com aplicação de fertilizante marcado com ^{15}N e o esterco foi produzido por caprinos mantidos em confinamento e alimentados com capim braquiária decumbens

(*Brachiaria decumbens* Stapf.) marcado com ^{15}N em cultivo prévio, também conduzido em casa de vegetação.

Para a produção da gliricídia marcada com ^{15}N , foram cultivadas plantas em casa de vegetação, em 40 potes plásticos contendo oito quilos de areia grossa previamente lavada e mantida em solução de HCl a 0,15% por 24h para retirar as impurezas e novamente lavada em água de torneira e destilada. Como fonte de N foi utilizada uma solução a 1M de nitrato de amônio com 5% de enriquecimento de ^{15}N , adicionando de uma vez 7,5 mL da solução em cada pote no momento da semeadura. As plantas de gliricídia foram regadas com solução nutritiva e colhidas 45 dias após a germinação. O plantio foi repetido por três ciclos consecutivos utilizando o mesmo substrato. As plantas colhidas em cada ciclo foram secas em estufa de circulação forçada a 65° C por 72 horas e moídas toda parte aérea em moinho Wiley (GARRIDO, 2009).

Para a produção das plantas de braquiária marcada com ^{15}N utilizaram-se os mesmos procedimentos anteriores. Foram realizados três cortes na braquiária marcada com ^{15}N a cada 35 dias após germinação. O feno pré seco marcado com ^{15}N obtido nos três cortes foi usado para alimentar quatro caprinos que tinham passado dois dias em jejum. Os esterco produzidos no primeiro dia foram descartados e os produzidos no segundo e terceiro dia foram recolhidos secados a sombra e moídos (GARRIDO, 2009).

Foram semeadas, por pote, cinco sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) da cultivar BRS Verde Embrapa, ou de feijão macassar (*Vigna unguiculata* L.) da cultivar moitinha ou de milho (*Zea mays* L.) da cultivar sergipano. Oito dias após a germinação foi feito o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso. A umidade do solo foi mantida a 50% do volume total de poros, através da pesagem diária dos vasos e complementação com água destilada.

Os cultivos foram repetidos por três ciclos consecutivos, sem nova aplicação dos adubos orgânicos, para avaliação de seus efeitos residuais. A coleta do experimento em cada ciclo foi realizada 50 dias após o plantio, cortando-se a parte aérea das plantas que foi seca em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas para obtenção da biomassa seca (BS). O teor de N total e a porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso no material (% ^{15}N) foi determinada, segundo Trivelin et al. (1973), em espectrômetro de massa Atlas Varian Mat modelo CH-4, no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP em São Paulo. A quantidade de N acumulado nas plantas (QN) foi calculada multiplicando-se a biomassa seca pela concentração de N total nas amostras.

As porcentagens de N nas plantas provenientes do esterco ou da gliricídia (%Npf) foram calculadas segundo o IAEA (1983), pela equação $N_{pfm} = (a/b) * 100$, na qual “a” representa a porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso na planta e “b” a porcentagem de átomos de ^{15}N em excesso no esterco ou na gliricídia. Átomos de ^{15}N em excesso é a quantidade além da abundância natural. As quantidades de N proveniente da gliricídia ou do esterco (QNpf) foram calculadas multiplicando-se a quantidade de N acumulada na planta (QN) pelas porcentagens de N nas plantas provenientes do esterco ou da gliricídia (%Npf).

A recuperação real do N aplicado foi calculada dividindo-se a quantidade de N na planta proveniente da gliricídia ou do esterco pela quantidade de N incorporada ao solo com a aplicação da gliricídia ou do esterco. A recuperação aparente do N aplicado foi calculada subtraindo-se a quantidade média de N acumulada no tratamento testemunha (QN testemunha) da quantidade de N acumulada nas plantas adubadas (QN tratamentos) e dividindo-se pela quantidade aplicada (FAGERIA, 1998).

As proporções e quantidades de N provenientes da fixação biológica de N no feijão foram calculadas considerando-se as plantas de algodão (o maior valor em cada ciclo), como plantas de referência (HUNGRIA e VARGAS, 1997). Para estas, foi definida a razão entre o N proveniente do solo e das fontes orgânicas marcadas e o valor da razão foi usado para calcular, no feijão, o N proveniente do solo. Com a proporção conhecida do N proveniente das fontes marcadas e a proporção estimada do N proveniente do solo foi calculada, por diferença, a proporção do N proveniente da fixação no feijão. Esta proporção foi multiplicada pela quantidade total de N nas plantas de feijão para calcular a quantidade de N proveniente da fixação.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 2006). Para a realização dessas análises foi utilizado o programa Sisvar (FERREIRA, 2003). Procedeu-se ainda a análise de variância, por meio do comando “REPEATED” do procedimento GLM do SAS (SAS, Institute 2001), com medidas repetidas no tempo para comparação entre os ciclos aplicando-se o teste de Esfericidade de Mauchly (1940). A análise de medidas repetidas no tempo foi utilizada, pois o teste de Esfericidade foi significativo ($P < 0,01$) e para comparação das médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biomassa e concentração de N na biomassa

De maneira geral, as produções de biomassa com os três tratamentos (testemunha, gliricídia e esterco) no feijão e no algodão, aumentaram do primeiro para o segundo ciclo (Tabela 1). No caso do feijão, o aumento na produção de biomassa com a aplicação dos adubos foi mais pronunciado do segundo para o terceiro ciclo, de forma que as biomassas no terceiro ciclo foram cinco vezes maiores que no primeiro. O aumento da biomassa das culturas no segundo e terceiro ciclo pode ter ocorrido devido à presença de maior luminosidade dos raios solares, uma vez que foram conduzidos em estações diferentes, sendo o primeiro ciclo conduzido no inverno e os dois últimos na primavera.

Tabela 1. Biomassa (B) e concentração de N na biomassa (N) na parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão cultivadas sem adubação ou adubadas com esterco ou gliricídia, em três ciclos consecutivos.

Tratamento	Algodão		Milho		Feijão	
	B	N	B	N	B	N
	g MS pote ⁻¹	mg g ⁻¹ MS	g MS pote ⁻¹	mg g ⁻¹ MS	g MS pote ⁻¹	mg g ⁻¹ MS
1º Ciclo						
Testemunha	1,0 bB ⁽¹⁾	8,7 cB	2,4 cB	11,1 bA	3,0 aC	19,4 bB
Gliricídia	1,2 bB	19,3 aA	5,6 aA	12,6 aA	3,3 aC	23,0 aB
Esterco	2,2 aB	18,5 bA	3,9 bA	8,5 cA	3,2 aC	24,4 aB
2º Ciclo						
Testemunha	2,9 cA	14,9 aA	2,4 cB	8,4 aB	6,50 aB	27,7 aA
Gliricídia	4,4 aA	14,4 aB	4,7 aA	8,7 aB	7,50 aB	31,5 aA
Esterco	3,6 bA	15,1 aB	3,6 bA	8,8 aA	5,75 aB	28,3 aA
3º Ciclo						
Testemunha	2,9 aA	8,7 aB	3,5 cA	5,0 aC	15,5 bA	20,1 bB
Gliricídia	3,4 aA	8,0 aC	6,0 aA	5,4 aC	15,5 bA	20,3 bC
Esterco	3,3 aA	8,6 aC	4,8 bA	5,9 aB	18,0 aA	25,5 aB

⁽¹⁾Médias em cada coluna seguidas de letras minúsculas para comparação entre os tratamentos em cada ciclo e de letras maiúsculas para comparação dos tratamentos entre os ciclos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No algodão, a produção de biomassa estabilizou-se do segundo para o terceiro ciclo e foi maior com as aplicações dos adubos orgânicos que no tratamento controle, mas apenas no segundo ciclo, e a biomassa obtida com a aplicação da gliricídia foi maior que com a do esterco, (Tabela 1). No milho, a produção de biomassa variou pouco entre os ciclos. Para essa cultura, em todos os três ciclos, a adição de esterco ou de gliricídia aumentou significativamente a produção de biomassa, com as ramas de gliricídia provocando maior efeito que com o esterco. No feijão, não houve efeitos significativos das aplicações dos

adubos orgânicos, exceto com a aplicação de esterco no terceiro ciclo, mas esse aumento pode ter ocorrido não apenas em função da adubação, pode está associado à contribuição do N fixado simbioticamente.

Repostas maiores de produção de biomassa de milho adubado com gliricídia comparadas ao esterco, também foram encontrados em trabalhos realizados em campo em Neossolos Regolítico e Flúvico, por Menezes e Salcedo (2007) e por Primo et al. (2012), nos quais as produtividades de biomassas de milho foram maiores com a aplicação de gliricídia que de esterco. Aumento de produtividade de milho também foi observado com a incorporação de ramas de gliricídia na microrregião do Brejo paraibano (MARIN et al., 2007). Tais resultados podem ser atribuídos aos seguintes fatores, comparando a gliricídia com o esterco: maior concentração de nitrogênio, maior quantidade de N adicionada e rápido processo de decomposição após incorporação no solo (MAFONGOYA et al., 2000; MUNDUS et al., 2008). A combinação desses fatores pode ter levado à maior disponibilização de nitrogênio com a incorporação das ramas de gliricídia que com o esterco.

As concentrações de N nas plantas traduzem esta maior disponibilidade em poucos casos. Apenas no primeiro ciclo, as concentrações no algodão e no milho foram maiores quando cultivados com a aplicação de ramas de gliricídia que com esterco (Tabela 1). Em poucos casos, as plantas adubadas tiveram concentrações maiores que as não adubadas. Em geral, as concentrações podem ser consideradas baixas e decresceram com os ciclos, exceto as do feijão. Isto indica que as disponibilidades de N no solo foram decrescentes e que as respostas das plantas a estas disponibilidades não foram limitadas por deficiências maiores de outros nutrientes. No entanto, a análise das quantidades de N nas plantas, feita a seguir, permite conclusões mais seguras.

Acúmulo de N nas plantas e proporção do N proveniente das fontes marcadas

No algodão, os acúmulos de N nos tratamentos com adubos adubos foram maiores que o tratamento testemunha e foram mais acentuados no segundo ciclo com a gliricídia que com esterco. No milho, em todos os ciclos, os acúmulos foram maiores com a gliricídia (Tabela 2).

No feijão, os acúmulos de N cresceram do primeiro para o terceiro ciclo e as duas fontes de adubos só diferiram do controle no primeiro ciclo. No segundo ciclo, os acúmulos foram maiores com a gliricídia, enquanto no terceiro ciclo foram maiores com o

esterco. Portanto, de forma geral, a gliricídia disponibilizou mais N que o esterco, mas não em todos os casos e nem com um padrão consistente ao longo dos ciclos.

Tabela 2. Acúmulo de N (AN) e proporção deste N proveniente das fontes marcadas, gliricídia ou esterco (%Ndpf), na parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão cultivadas sem adubo ou adubadas com esterco ou gliricídia, em três ciclos consecutivos.

Adubos	Algodão		Milho		Feijão	
	AN	Ndpf	AN	Ndpf	AN	Ndpf
	mg pote ⁻¹	% ¹	mg pote ⁻¹	% ¹	mg pote ⁻¹	% ¹
1º Ciclo						
Testemunha	8,7 cC ⁽¹⁾	-	26,7 cA	-	58,3 cC	-
Gliricídia	23,1 bB	78,2 aA	70,6 aA	76,5 aA	73,6 bC	68,1 aA
Esterco	40,7 aA	42,0 bA	33,1 bA	28,8 bB	78,0 aC	12,3 bA
2º Ciclo						
Testemunha	43,1 cA	-	20,2 cB	-	179,9 bB	-
Gliricídia	63,5 aA	73,7 aB	40,8 aB	71,2 aB	236,0 aB	32,2 aB
Esterco	54,3 bA	45,6 bA	31,7 bA	44,2 bA	163,0 bB	18,6 bA
3º Ciclo						
Testemunha	25,2 aB	-	17,6 cB	-	312,1 bA	-
Gliricídia	27,3 aB	50,3 aC	32,5 aB	59,6 aC	314,8 bA	5,6 aC
Esterco	28,5 aB	38,7 bB	28,4 bA	32,6 bB	458,8 aA	2,1 bB

⁽¹⁾Médias em cada coluna seguidas de letras minúsculas para comparação entre os tratamentos em cada ciclo e de letras maiúsculas para comparação dos tratamentos entre os ciclos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As proporções do N nas plantas provenientes das ramas de gliricídia foram maiores que as provenientes do esterco, nas três culturas e nos três ciclos (Tabela 2). No primeiro ciclo, com a gliricídia, as proporções foram semelhantes nas três culturas e altas (68 a 78%), indicando que as plantas dependeram do fornecimento do N incorporado. Já as proporções provenientes do esterco foram maiores no algodão (42%) que no milho (29%) e no feijão (12%). Nos dois ciclos seguintes, as proporções no algodão e no milho provenientes da gliricídia foram semelhantes (50 a 74%) e maiores que as do feijão que decresceram do segundo ciclo (32%) até se tornar muito baixa no terceiro ciclo (6%). As proporções provenientes do esterco nestes dois ciclos mantiveram-se no mesmo patamar que no primeiro ciclo no algodão (46 e 39%), subiram no milho (44 e 33%) e decresceram no feijão (19 e 2%).

A maior proporção de N proveniente da gliricídia para as três plantas em todos os ciclos comprova a disponibilidade mais rápida de N após aplicação da gliricídia, já que essa é uma fonte mais lábil que o esterco (Mundus et al., 2008). O fato das proporções terem sido maiores no algodão e no milho que no feijão, no primeiro e segundo ciclo,

talvez tenha ocorrido devido a uma demanda maior por N por estas duas culturas que pelo feijão, que não depende muito de N do substrato, por fixar o N_2 da atmosfera.

As quantidades de N nas plantas provenientes da gliricídia (Tabela 3) mostram um padrão quase inverso do das proporções: foram sempre das mais altas no feijão e no milho no primeiro ciclo, somente aproximando-se das proporções na outra cultura no terceiro ciclo. A combinação de proporções mais baixas e quantidades mais altas comprovam que as outras fontes (solo e fixação biológica de N_2) estavam contribuindo com muito mais N nas plantas de feijão que nas outras duas culturas.

As quantidades de N provenientes do esterco (Tabela 3) foram menores que às provenientes da gliricídia em todos os ciclos e culturas. O fato das culturas terem acumulado menos N proveniente do esterco que da gliricídia também comprova que o esterco é uma fonte menos disponível de N, mas deve-se levar em conta que as quantidades aplicadas com o esterco também foram menores que a da gliricídia. O cálculo das recuperações, feito mais adiante, corrige esta diferença de aplicação.

Tabela 3. Quantidade de N derivado do solo e quantidade de N (mg) fixado pelo feijão utilizando o algodão como planta de referência (QNfix)

Fonte	Algodão		Milho		Feijão		
	QNfonte	QNsolo	QNfonte	QNsolo	QNfonte	QNsolo	QNfix1
-----mg pote ⁻¹ -----							
1º Ciclo							
Gliricídia	18,1 aB ⁽¹⁾	5,0 bC	54,0 aA	16,6 bA	50,1 aB	14,0 aB	9,5 bC
Esterco	17,1 bB	23,6 aB	9,5 bB	23,6 aA	9,6 bB	13,2 aB	55,2 aC
2º Ciclo							
Gliricídia	46,8 aA	16,7 bA	29,0 aB	11,8 bB	76,0 aA	27,1 bA	132,9 aB
Esterco	24,8 bA	29,5 aA	14,0 bA	17,7 aB	30,3 bA	36,2 aA	96,5 bB
3º Ciclo							
Gliricídia	13,7 aC	13,6 bB	19,4 aC	13,1 bB	17,6 aC	17,4 aB	279,8 bA
Esterco	11,0 bC	17,5 aC	9,3 bB	19,1 aB	9,6 bB	15,3B	433,9 aA
Total							
Gliricídia	78,6	35,3	102,4	41,5	143,7	28,5	422,1
Esterco	52,9	70,6	32,8	60,4	49,5	64,7	585,6

⁽¹⁾ Médias em cada coluna seguidas de letras minúsculas para comparação entre os tratamentos em cada ciclo e de letras maiúsculas para comparação dos tratamentos entre os ciclos não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de N fixada pelo feijão aumentou muito do primeiro para o terceiro ciclo, tanto com a incorporação de gliricídia quanto com a de esterco (Tabela 3). No primeiro e terceiro ciclos, a fixação foi maior no tratamento com esterco, mas no segundo ciclo foi o inverso, sendo que no segundo a maior quantidade de N fixado ocorreu com a

gliricídia e no terceiro ciclo com o esterco (434 mg pote^{-1}). Quantidade alta de N fixado simbioticamente pelo feijão macassar (656 mg pote^{-1}) também foram obtidos por Brito (2001) em casa de vegetação.

Esse aumento de N fixado pelo feijão no terceiro ciclo provavelmente se deveu a um tempo maior para a simbiose se tornar efetiva. Além disso, com o decréscimo no N do solo e das fontes utilizadas ao longo dos três ciclos, é muito provável que o processo de FBN tenha sido estimulado e levado ao acúmulo de alta porcentagem de N nas plantas de feijão. Tsai et al. (1993) relataram que baixas concentrações de N no solo estimularam a nodulação por plantas de macassar. De forma semelhante, Mendes et al. (2008) afirmaram que sempre que existe baixa disponibilidade de N de outras fontes, o N fixado é a maior fonte do nutriente em plantas com capacidade de associar-se com microorganismos fixadores. Quando bem nodulado o feijão macassar, pode dispensar outras fontes de N e atingir alta produtividade de biomassa (MARTINS et al., 2003). Estimativas das taxas de FBN em macassar variam de 40 a 90 % do total de N acumulado pela cultura (RUMJANEK et al., 2005).

Recuperação real e aparente de N

A recuperação real do N aplicado com a gliricídia foi maior que a do N aplicado com o esterco, no primeiro ciclo, em todas as três culturas, e os valores das culturas foram próximos (Tabela 4). Nos ciclos seguintes, a recuperação inverteu-se, de forma que ao final do terceiro ciclo as recuperações do N das duas fontes foram semelhantes, nas três culturas. Em geral, a recuperação no terceiro ciclo foi menor que nos ciclos precedentes e a do segundo ciclo variável entre as culturas, ora menor ora maior que a do primeiro ciclo.

A recuperação nos três ciclos foi maior no feijão que no algodão. Portanto, a gliricídia teve uma disponibilização mais rápida que a do esterco, mas em ambas as fontes a disponibilização caiu depois de cerca de 100 dias de incorporação no solo. As diferenças de recuperação real observadas entre as três cultivares estão relacionadas ao fato de que são espécies distintas com processos fisiológicos diferentes possuindo, portanto, um potencial de recuperação de N bastante diferenciado.

Tabela 4. Recuperação real e aparente do N aplicado com rama de gliricídia e com esterco pela parte aérea de plantas de algodão, milho e feijão.

Adubos	Algodão		Milho		Feijão	
	Recuperação real	Recuperação aparente	Recuperação real	Recuperação aparente	Recuperação real	Recuperação aparente
-----%						
1º Ciclo						
Gliricídia	16,4 aA ⁽¹⁾	5,0 bA	14,4 aA	14,0 aA	14,1 aB	5,0 bC
Esterco	6,6 bC	32,0 aA	7,4 bB	7,0 bB	8,2 bB	19,0 aC
2º Ciclo						
Gliricídia	12,9 bB	5,0 bA	8,1 bB	6,0 bB	22,3 bA	24,0 bB
Esterco	21,3 aA	11,0 aB	11,7 aA	13,0 aA	26,2 aA	47,0 aB
3º Ciclo						
Gliricídia	5,7 bC	3,0 bA	5,4 aC	5,0 bB	4,6 aC	79,0 bA
Esterco	10,0 aB	13,0 aB	6,9 aB	11,0 aA	4,5 aC	350,0 aA
Recuperação total (%)						
Gliricídia	35,0	13	27,9	25	41,0	108
Esterco	37,3	56	26,0	31	38,9	416

⁽¹⁾Médias em cada coluna seguida de letras minúsculas para comparação entre os tratamentos em cada espécie de planta, seguidas de letra maiúsculas para comparação entre os ciclos em cada espécie e seguidas de letras gregas na linha para comparação entre as culturas em cada tratamento e ciclo não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Ramas de gliricídia são de fácil decomposição, com rápida mineralização de N, enquanto a aplicação de esterco pode resultar na imobilização do N do solo, como ocorreu durante cerca de um mês em experimento de campo (Mundus et al., 2008). Em solo incubado em laboratório, a gliricídia e o esterco apresentaram efeitos opostos na disponibilidade do N do solo nas primeiras semanas após sua incorporação. A gliricídia causou mineralização e o esterco imobilização (MENEZES e SALCEDO, 2007; MAFONGOYA et al., 2000).

Imobilização de N até um mês após a aplicação de esterco, seguida de mineralização progressivamente maior até seis meses foi observada em casa de vegetação (SAMPAIO et al., 2007). Há poucos trabalhos sobre a recuperação de N do esterco (JENSEN et al., 1999; THOMSEN et al., 2001; SALAZAR et al., 2005; GARZA et al., 2009), com ramas de plantas, ou restos de cultura (NG KEE KWONG et al., 1987) ou adubos verdes (GARZA et al., 2009).

Sobre a recuperação do N de ramas de gliricídia nenhum estudo foi encontrado no Nordeste brasileiro. A principal causa da falta de estudos dessa natureza no Brasil está associada as dificuldades técnicas e altos custos para a marcação desses adubos com ¹⁵N (IAEA, 2001).

Dados de três estudos que quantificaram a recuperação real de N de esterco de curral marcado na cultura de milho, por três anos consecutivos, mostraram recuperações de 35 a 49% (JOKELA, 1992). Recuperações menores foram observadas por Thomsen et al. (1993), de 13 a 22%. Os resultados de recuperação real obtidos no presente estudo, de 28 a 41% para a gliricídia e de 26 a 38% foram próximos aos encontrados por Jokela (1992) e superiores aos de Thomsen (1993).

A recuperação aparente do N foi similar à recuperação real apenas para a cultura do milho tanto com esterco quanto com gliricídia e demonstrou ser inadequada para as demais culturas (Tabela 4). A recuperação aparente no presente estudo variou entre os adubos e plantas. No algodão os valores com esterco nos três ciclos foram maiores que com a gliricídia 11, 13 e 32%. No milho os valores também foram maiores com esterco no segundo e terceiro ciclo 11 e 13%.

Os valores de recuperações aparentes obtidos neste estudo para o algodão e milho foram inferiores, comparados aos observados por Paul e Beauchamp (1995), com a aplicação de esterco, com percentuais entre 57% e 76% para experimento conduzido em casa de vegetação e, próximos aos estudos realizados por Sanderson e Jones (1997), que obtiveram percentual de 25% de recuperação de nitrogênio aplicando anualmente via esterco durante quatro anos consecutivos e por Klausner (1994), que verificaram recuperação aparente de nitrogênio de 26% com esterco sólido após dois anos de adição de esterco no solo cultivando *Dactylis glomerata* L. No feijão a recuperação aparente foi maior com esterco nos três ciclos (19, 24 e 350%) e apenas similar com o algodão e milho no primeiro e segundo ciclo. No terceiro ciclo o valor foi consideravelmente alto.

Os valores de recuperação aparente em alguns casos diferiram muito da recuperação real, em alguns casos, como o do feijão, em que a FBN levou a um erro nos valores da recuperação aparente, devido ao alto valor de N fixado pelo feijão. O fato de que a planta pode extrair N de diversas fontes como solo, adubo e atmosfera, em alguns casos, os valores de recuperação aparente, pode ser superiores a 100% (MARTHA, 2003).

O método está sujeito a erros e normalmente superestima a utilização do N de fertilizantes, por não considerar as reações da imobilização e mineralização do N ocorridas constantemente no solo (TRIVELIM et al., 2011). Assim, a técnica isotópica, mediante o uso de fertilizantes marcados isotopicamente é a única para avaliar o real aproveitamento por culturas de nutrientes aplicados ao solo.

CONCLUSÕES

As ramas de gliricídia marcadas com ^{15}N por ter decomposição rápida, indicaram maior potencial no fornecimento de nitrogênio no algodão e no milho no primeiro ciclo, comparada ao esterco caprino marcado.

As recuperações reais de nitrogênio pelas três culturas com ramas de gliricídia comparadas ao esterco foram maiores no primeiro ciclo.

As recuperações reais de nitrogênio proveniente do esterco e da gliricídia marcados, diminuiram no terceiro ciclo vegetativo devido pouca quantidade do nutriente no substrato.

As recuperações reais do N aplicado nas duas fontes foram altas e semelhantes em torno de 38% e, comparável à recuperação do N aplicado em fertilizantes minerais.

A recuperação aparente do N foi similar à recuperação real apenas para a cultura do milho e mostrou-se inadequada para as culturas do algodão e feijão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) MCT/CNPq/CT-Agronegócio Nº 43/2008, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo IBPG-1662-5.01/08, pelo apoio financeiro à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP. 2006, 237p.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. Bragantia, Campinas, v.70, n.1, p.206-215, 2011.

BONFIM-DA-SILVA, E.M. Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica. 2005. 123p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CARVALHO FILHO, O.M. de; DRUMOND, M.A.; LANGUIDEY, P.H. *Gliricidia sepium* - leguminosa promissora para as regiões semiáridas. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1997. 17 p.il. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 35).

DELGADO, J.A.; DILLON, M.A.; SPARKS, R.T.; FOLLETT, R.F. Tracing the fate of ^{15}N in a small-grain potato rotation to improve accountability of N budgets. *Journal Soil Water Conservation*, v.59, n.6, p.271-276, 2004.

EMBRAPA. Embrapa solos, Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1997. 370p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.1, p.6-16, 1998.

FERREIRA, D.F. Software Sisvar: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; DOURADO NETO, D.; TRIVELIN, P.C. O.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P.; BACCHI, O.O.S. Growth, development, and fertilizer- ^{15}N recovery by the coffee plant. *Scientia agrícola*. Piracicaba, v.64, n.5, 2007.

GARRIDO, M.S. Adubação com gliricídia e esterco em culturas do semiárido nordestino. Recife: UFPE-PROTEN, 2009. 80p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

GARRIDO, M.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MARQUES, T.R.R. Crescimento e absorção de nutrientes pelo algodoeiro e pela mamoneira adubados com gliricídia e esterco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.5, p.531-536, 2009.

GARZA, H.M.Q.; DELGADO, J.A.; WONG, J.A.C.; LINDEMANN, W.C. ^{15}N uptake from manure and fertilizer sources by three consecutive crops under controlled conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.5, p.1249-1258, 2009.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; HEINRICHS, R.; SILVA, M.A. Balanço do nitrogênio da uréia (^{15}N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. *Bragantia*. v.65, n.3, p.477- 486, 2006.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. In: HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; ARAÚJO, R.S. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1997. 524p.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. A guide to the use of nitrogen - 15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: calculations and interpretation of data. A technical document issued by the International Atomic Agency, Vienna: IAEATECDOC-288, 1983. 63p.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Applications of nuclear techniques in soil fertility and plant nutrition studies. In: *Use of isotope and radiation*

methods in soil and water management and crop nutrition. IAEA Training course series N14, Vienna, p-21-104, Austria, IAEA, 2001.

JENSEN, B.; SORENSEN, P.; JENSEN, E.S.; THOMSEN, I.K.; CHRISTENSEN, B.T. Availability of nitrogen in ^{15}N -labeled ruminant manure components to successively grown crops. *Soil Science Society of America Journal*, v.63, n.2, p.416-423, 1999.

JOKELA, W.E. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.1, p.148-154, 1992.

KLAUSNER, S.D. Mass nutrient balances on dairy farms. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE, Rochester. Proceedings p.19-21 (1994).

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

MAFONGOYA, P.L.; BARAK, P.; REED, J.D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biology and Fertility of Soils*. v.30, n.4, p.298-305, 2000.

MARIN, A.M.P; MENEZES, R.S.C; SALCEDO, I.H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.5, p.669-677, 2007.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; ALVES, M.C. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. *Grass and Forage Science* (Print), Reading, Reino Unido, v.59, n.1, p.80-90, 2004.

MARTINS, L.M.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO, J.R.A.; NEVES, M.C.P.; MORGADO, L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: A strategy for improving grain yield in the semiarid region of Brazil. *Biology. And Fertility of Soils*, v.38, n.6, p.333-339, 2003.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G.; CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em Latossolos do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.8, p.1053-1060, 2008.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.4 p.361-367, 2007.

MUNDUS, S.; MENEZES, R.S.C.; NEERGAARD, A.; GARRIDO, M.S. Maize growth and soil nitrogen availability after fertilization with cattle manure and/or gliricidia in semi-arid NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.1, p.61-73, 2008.

MUÑOZ, G.R.; KELLING, K.A.; POWELL, J.M.; SPETH, P.E. Comparison of estimates of first year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques. *Journal of Environmental Quality*. v.33, n.2, p.719-727, 2004.

MAUCHLY, J.W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. The Annals of Mathematical Statistics, v.11, n.2, p.204-209, 1940.

NG KRR KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C; RIVIERE, V. Value of cne trash in nitrogen nutrition of sugarcane. Plant and Soil. v.102, n.9, p.7993, 1987.

PAUL, J.W.; BEAUCHAMP, E.G. Availability of manure slurry ammonium for corn using ^{15}N -labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v.75, n.1, p.35-42, 1995.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O.; GARRIDO, M.S.; CABRAL, P.K.T. Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano. Revista Agrária, Recife. v.6, n.8 p. 198-1016, 2012.

RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; NEVES, M.C.P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. Feijão-caupi; avanços tecnológicos. Brasília, Embrapa/Informação Tecnológica, 2005. p.281-335.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide. Version 9.1 Cary: SAS Institute, 2001.

SALAZAR, F.J.; CHADWICK, D.; PAIN, B.F.; HATCH, D.; OWEN, E. Nitrogen budgets for three cropping systems fertilised with cattle manure. Bioresource Technology., v.96, n.2 p.235-245, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B.; OLIVEIRA, N.M.B.; NASCIMENTO, P.R.F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.5, p.995-1002, 2007.

SANDERSON, M.A.; JONES, R.M. Forage yields, nutrient uptake, soil chemical changes and nitrogen volatilization from Bermudagrass treated with dairy manure, Journal of Production Agriculture, Madison, v.10, n.2, p.266-271, 1997.

SCHLESINGER, W.H. Biogeochemistry: An analysis of global change. Academic Press, San Diego, USA, 1997.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIN, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.14, n.5, p.879-882, 2006.

STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J. Cattle slurry applied before fertilizer nitrate lowers nitrous oxide and dinitrogen emissions. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, n.2, p.647-652, 2002.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.3, p.353-362, 2006.

THOMSEN, I.K.; HANSEN, J.F.; KJELLERUP, V.; CHRISTENSEN, B.T. Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use Management* v.9, n.2, p.53-58, 1993.

THOMSEN I.K. Recovery of nitrogen from composted and anaerobically stored manure labelled with ^{15}N . *European Journal of Agronomy*, v.15, n.1, p.31-41, 2001.

TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H. C. J. Adubação nitrogenada e a sustentabilidade de agroecossistemas. In: *Tópicos em ciências do solo*. Vol. VII. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Viçosa, 2011.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas. Piracicaba: USP, 1973. 41 p. (Cena. Boletim Técnico, 2).

TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. *Plant and Soil*, v.152, n.1 p.131-138, 1993.

CAPÍTULO 2

CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO NO SEMIARIDO DO ESTADO DA PARAIBA BRASIL

CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO NO SEMIARIDO DO ESTADO DA PARAIBA BRASIL

RESUMO - O objetivo do estudo foi avaliar a contribuição da forma e época de aplicação de adubos orgânicos de diferentes qualidades sobre a absorção de nutrientes e a sua relação com a produtividade do milho cultivado em Neossolo Flúvico na região semiárida do estado da Paraíba (Brasil). O experimento foi conduzido na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, na região do Cariri paraibano, em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 - aplicação incorporada de 20 Mg ha⁻¹ de gliricídia fresca no solo (GI); T2 - aplicação em superfície de 20 Mg ha⁻¹ de gliricídia fresca (GS); T3 - aplicação incorporada de 10 Mg ha⁻¹ de esterco pré seco e 10 Mg ha⁻¹ de gliricídia fresca (EI+GI); T4 - aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de esterco incorporado e 10 Mg ha⁻¹ em superfície aos 45 dias após plantio (EI+GS); T5 - aplicação incorporada de 10 Mg ha⁻¹ de esterco (EI) e T6 - testemunha sem aplicação de adubação orgânica (C). A aplicação de gliricídia em superfície (GS) no solo levou ao maior acúmulo de nutrientes na biomassa do milho. A presença da gliricídia isolada ou combinada com o esterco favoreceu a sincronização entre a disponibilidade de nutrientes no solo e a demanda de nutrientes pelo milho. A aplicação da gliricídia isolada e com esterco favoreceu as maiores exportações de nutrientes, por meio da palhada e dos grãos de milho. A utilização de biomassa da gliricídia incorporada de forma isolada e combinada com esterco no Neossolo Flúvico é recomendada para o incremento da produtividade do milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Gliricídia sepium*, produtividade, esterco

CONTRIBUTION OF ORGANIC FERTILIZATION ON NUTRIENT UPTAKE AND CORN YIELD IN STATE SEMIARID PARAIBA BRAZIL

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the contribution of the sward and timing of organic fertilizers application in different grades for nutrients uptake and its relation to the productivity of corn grown in Fluvic Entisol in the semiarid region of the Paraíba State (Brazil). The experiment was conducted at Vila Maria Rita Agroecological Station, in the Cariri region of the state, in a randomized complete block design with four replications. The treatments were: T1 – built in application of 20 Mg ha⁻¹ of in soil gliricídia fresh (GI); T2 - sidedress application of 20 Mg ha⁻¹ of gliricidia (GS); T3 - built-in application of 10 Mg ha⁻¹ pre dry manure and 10 Mg ha⁻¹ gliricidia (EI+ GI); T4 - application of 10 Mg ha⁻¹ incorporated manure and 10 Mg ha⁻¹ in sidedress, 45 days after sowing (EI + GS); T5 - built-in application of 10 Mg ha⁻¹ manure (EI); T6 - control without application of organic biomass (C). The application of gliricidia in cover (GS) in the soil showed greatest accumulation of nutrients in corn biomass. The presence of gliricidia alone or in combination with manure favored for a greater synchronization between the soil nutrients availability and the corn demand for nutrients. The application of gliricidia alone and in combination with manure favored the increase of nutrients export through the straw and corn grain. The use of built-in gliricidia biomass alone and in combination with manure in the FULVIC ENTISSOL is recommended to increase corn productivity.

Keywords: *Zea mays* L., *Gliricídia sepium*, productivity, manure

INTRODUÇÃO

O Estado da Paraíba possui uma área de 56.440 km², da qual 86,44% está inserida em ambiente de semiaridez. De acordo com o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011), em 2009 a área cultivada com milho foi de 194.000 ha, com uma produtividade de 857 kg ha⁻¹. Nos sistemas agrícolas onde há pouca entrada de nutrientes de fontes externas, a matéria orgânica do solo (MOS) é a principal fonte de nutrientes, como é verificado na agricultura de subsistência da região semiárida do nordeste brasileiro (TIESSEN et al., 2001).

As vantagens do uso do adubo orgânico na agricultura são atribuídas, entre outras coisas, ao aumento da umidade do solo em períodos secos, a preservação do solo contra a erosão, o que melhora os indicadores físicos, químicos e biológicos do solo e o aumento da permeabilidade (JUNHO et al., 2004). O uso do esterco ou sobras culturais, que constitui adubo orgânico é uma prática comum na condução das lavouras de agricultores da região semiárida (SEVERINO et al., 2006). Na atualidade, a quantidade de esterco produzida nas propriedades rurais é insuficiente para adubar todas as áreas cultivadas no Nordeste (GARRIDO et al., 2008).

Uma estratégia para minimizar as limitações do uso de esterco parece ser sua utilização combinada com adubos verdes. O produtor poderá utilizar uma parte da biomassa dos adubos verdes como forragem para seu rebanho e outra parte na composição de adubos orgânicos de boa qualidade. Os adubos verdes podem suprir o nitrogênio necessário para viabilizar a rápida decomposição do esterco e suprir outros nutrientes às plantas como o fósforo (MENEZES e SALCEDO, 2007). Um exemplo recomendado de adubo verde com potencial de uso nas condições da região Nordeste do Brasil é a gliricídia (*Gliricídia sepium* Jacq. Walp), por possuir alto teor de nitrogênio na biomassa (BARRETO e FERNANDES, 2001). A gliricídia é uma leguminosa nativa da América do Sul e tem recebido atenção por produzir grandes quantidades de biomassa, fácil decomposição e alto teor de nitrogênio (HANDAYANTO et al., 1994).

Além disso, os agricultores podem utilizar a gliricídia como forragem animal e como adubo verde em épocas de plantio das culturas de subsistência. Porém, a decomposição rápida da gliricídia pode liberar N antes de requerido pela cultura, podendo levar perdas de N, principalmente em anos em que ocorre maior precipitação (MENEZES e SALCEDO, 2007). Por outro lado, o esterco disponível nas propriedades pode causar imobilização do N do solo após sua incorporação (MENEZES e SALCEDO, 2007; MUNDUS et al., 2008).

Apesar do esterco causar uma série de benefícios ao solo, Palm et al. (2001) afirmam que o esterco pode ser um material de baixa qualidade, porém continua sendo uma alternativa barata e viável para a manutenção da matéria orgânica do solo, por apresentar função nutricional, já que é fonte de N, P, S e micronutrientes para o crescimento vegetal (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Dessa forma, estratégias de manejo de adubação aplicando em duas vezes, em vez de uma, sendo, a primeira antes do plantio, com esterco e a segunda aos 45 dias após plantio com a gliricídia poderá ser bastante viável. Isso permite melhor sincronização entre a liberação de N e a demanda de nutriente pelas culturas. Essa condição é possível pois o produtor possui duas condições favoráveis, que são o esterco curtido no curral acumulado durante o verão antes do plantio das culturas e a disponibilidade de biomassa da gliricídia logo após o plantio das culturas na época da chuva.

Resultados sobre aumento de produtividade de milho foram observados com a incorporação de 20 Mg ha⁻¹ de ramas de gliricídia ao solo na microrregião do Brejo paraibano (MARIN et al., 2007). Apesar disso, pouco se sabe ainda sobre a produtividade e a absorção de nutrientes pelas culturas agrícolas sob adubação orgânica em regiões semiáridas, principalmente com a combinação de esterco com outros materiais orgânicos e às diferentes épocas de sua aplicação.

Apesar da aplicação de esterco ou sobras culturais como adubos orgânicos ser uma prática comum na condução das lavouras de agricultores da região semiárida (SEVERINO et al., 2006), são limitadas as informações sobre a eficiência das práticas usuais de manejo desses adubos. Essa realidade demanda o desenvolvimento de pesquisas aplicadas, na busca de melhores índices de produtividade e que favoreçam os princípios de conservação e sustentabilidade do solo.

Um fator que pode interferir na decomposição dos adubos verdes é a forma como esses são adicionados ao solo, se incorporado ou em superfície. Mundus et al. (2008) afirmaram que os adubos de origem vegetal uma vez incorporados ao solo, tornam-se mais acessíveis à microbiota do solo, por outro lado, quando o material orgânico é deixado em superfície, onde a decomposição pode ser mais lenta, proporcionando maior conservação de água no solo, por este permanecer coberto por mais tempo. O objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição da forma e época de aplicação de adubos orgânicos de diferentes qualidades sobre a absorção de nutrientes e a sua relação com a produtividade do milho cultivado em um Neossolo Flúvico na região semiárida do estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a junho de 2009 na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá no semiárido paraibano, com coordenadas 07°12'10,8" S e 036°49'42,6" W e declividade aproximadamente de 2%, com altitude em torno de 520 m. A temperatura média anual local é de 26°C. A precipitação média anual da microrregião é de aproximadamente 500 mm, distribuída entre os meses de fevereiro e julho. Os dados referentes à precipitação local durante o período experimental foram obtidos diariamente e contabilizados mensalmente durante o período de condução do experimento (Figura 1).

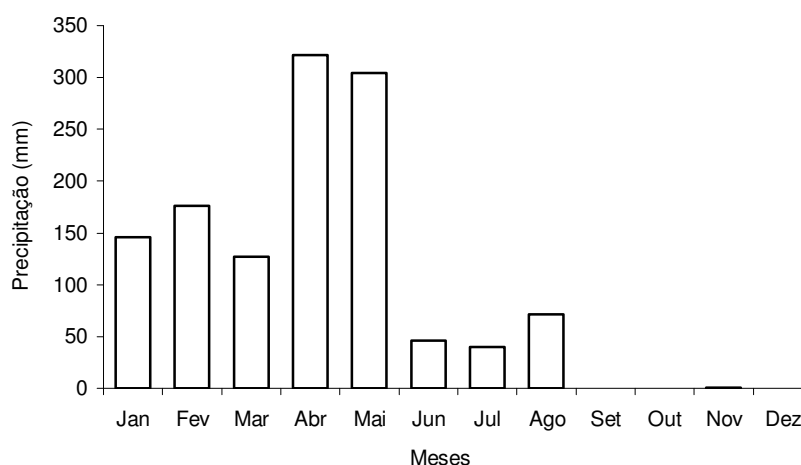


Figura 1. Precipitação total mensal na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, PB, no ano 2009.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico, (EMBRAPA, 2006) com textura média. A caracterização dos seus atributos físico-químicos (Tabela 1) foi determinada de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1999), antes da aplicação dos tratamentos e semeadura do milho (*Zea mays* L.) nas parcelas experimentais. As sementes do milho utilizada no presente estudo foi a cultivar sergipano.

Tabela 1. Composição físico-química do Neossolo Flúvico na camada de 0-20 cm antes da aplicação dos adubos e plantio do milho

CARACTERÍSTICAS	NEOSSOLO FLÚVICO
pH (H ₂ O)	6,74
P extraível (mg kg ⁻¹)	299
K extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,25
Ca extraível (cmol _c kg ⁻¹)	3,95
Mg extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,62
Na extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,10
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,0
Al + H (cmol _c kg ⁻¹)	1,32
SB (cmol _c kg ⁻¹)	4,92
CTC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹)	6,24
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	5,02
V(%)	78,05
COT (g kg ⁻¹)	8,80
NT (g kg ⁻¹)	0,50
Areia (g kg ⁻¹)	532
Silte (g kg ⁻¹)	203
Argila (g kg ⁻¹)	265

Os adubos orgânicos utilizados nos tratamentos foram: esterco bovino de curral e gliricídia. O esterco foi coletado nas propriedades rurais dessa microrregião, enquanto que a biomassa de gliricídia (ramas e galhos finos) foi coletada nas proximidades da área experimental. As características químicas desses adubos consistiram nos teores de polifenóis, lignina, C, N, P, K, Ca e Mg (Tabela 2). O teor de polifenóis solúveis foi determinado segundo Anderson e Ingram (1993) e o de lignina pelo método da fibra em detergente ácido (FDA) de acordo com Van Soest (1963) Tabela 2. O carbono foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (SNYDER e TROFYMOW, 1984).

Tabela 2. Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.

Materias	PF*	Lig	COT	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	%								
Gliricídia	2,1	13,1	385	31,0	5,4	21,0	21,0	4,5	12,4
Esterco	-	18,6	125	12,0	5,5	27,0	27,0	6,2	10,4

* PF = polifenóis; Lig = lignina; COT= Carbono orgânico total; N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio, constituinte dos adubos orgânicos.

Para determinação dos teores totais de N, P e K, o esterco e a gliricídia foram digeridos com uma mistura de ácido sulfúrico e água oxigenada (THOMAS et al., 1967). O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982), o de fósforo total por digestão sulfúrica e colorimetria ((MURPHY e RILEY, 1962), o de potássio total por digestão sulfúrica e fotometria de chama e os de cálcio e magnésio por digestão sulfúrica e absorção atômica (EMBRAPA 1999).

O esterco curtido pré seco com teor de cinza equivalente a 80% e a biomassa de gliricídia fresca foram aplicados em doses equivalentes a 20 Mg ha^{-1} nos tratamentos com aplicações isoladas, e 10 Mg ha^{-1} de esterco e 10 Mg ha^{-1} de gliricídia nos tratamentos com aplicações combinadas, sendo a dose de 20 Mg ha^{-1} de matéria fresca e pré seca, equivalente aproximadamente a 4,6 e 14 Mg ha^{-1} de gliricídia e de esterco respectivamente. Com base na caracterização da gliricídia e esterco (Tabela 2), a adição anual em kg ha^{-1} ao solo aproximadamente foi de 142,6; 24,8 e 96,6 de N, P e K total com a biomassa de gliricídia e de 120, 55,0 e 270,0 com o esterco e, na adição das doses dos adubos de forma conjunta, foram adicionados, portanto, a metade dos valores de N, P e K apresentados acima.

O delineamento experimental adotado foi em bloco ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições distribuídos da seguinte forma: GI - Aplicação e incorporação de biomassa fresca da gliricídia ao solo antes do plantio do milho; GS - Aplicação em superfície da biomassa fresca da gliricídia ao solo 45 dias após plantio do milho; EI + GI - aplicação e incorporação do esterco e da biomassa fresca da gliricídia ao solo, antes do plantio do milho; EI + GS - aplicação e incorporação do esterco ao solo, antes do plantio do milho e aplicação em superfície da biomassa fresca da gliricídia 45 dias após o plantio do milho; EI - Aplicação e incorporação do esterco ao solo antes do plantio do milho e C - tratamento testemunha sem aplicação e incorporação de adubos orgânicos.

Os adubos aplicados antes do plantio do milho foram incorporados manualmente com auxílio de enxada a uma profundidade de aproximadamente 10 cm e os aplicados em superfície foram dispostos na superfície, espalhados por toda a parcela experimental com dimensões de $5 \times 7 \text{ m}$ (35 m^2) com 1 m de bordadura apenas na largura e área útil de $5 \times 5 \text{ m}$, perfazendo 25 m^2 por parcela. Os ramos de gliricídia finos (ramos e galhos finos com no máximo 1 cm de diâmetro) foram cortados com facão em pedaços com tamanhos entre 5 a 10 cm, aproximadamente.

No momento do plantio foram colocadas oito sementes por cova com espaçamento de 1,0 m entre covas. Em seguida, aproximadamente, oito dias após emergência das plântulas foram feitos os desbastes, mantendo-se quatro plantas por cova, totalizando 40.000 plantas por hectare. Foram realizadas capinas quinzenalmente, utilizando enxada, para evitar a competição de espécies emergentes. Para estudar a dinâmica de nutrientes pelo milho submetido à adubação orgânica, foram coletadas 10 plantas de cada parcela de cada tratamento a cada trinta dias durante o ciclo vegetativo da cultura, cortando-as com facão a 1 cm da superfície do solo.

Após pesagem da biomassa das plantas fez-se a moagem em forrageira e separou-se subamostras por parcelas de cada tratamento que foram secas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C até atingir massa constante e, em seguida, foram moídas em moinho tipo Wiley, digerida com solução digestora composta de ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (THOMAS et al., 1967), para determinação dos teores de nutrientes.

Os teores de N na parte aérea da planta de milho foram determinados pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982); o de fósforo por colorimetria (MURPHY e RILEY, 1962), e o de K por fotometria de chama (EMBRAPA 1999). Os acúmulos de nutrientes nas plantas de milho foram determinados através do produto da massa da matéria seca da parte aérea e dos grãos pelos teores de nutrientes nessas componentes. A colheita dos grãos do milho foi realizada aos 120 dias após emergência, com os grãos a 13% de umidade nas parcelas experimentais. Coletou-se também material da parte aérea das plantas de milho para determinação da produção de biomassa.

As variáveis químicas avaliadas na parte aérea foram: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), nos períodos de 30, 60 e 90 dias após emergência (DAE) para verificar a dinâmica de absorção desses nutrientes pelo milho. Foram avaliados acúmulos de nutrientes na parte aérea e nos grãos, a produtividade total (biomassa da palhada e grão kg ha⁻¹) e índice de colheita (razão entre a massa seca dos grãos e massa seca total da parte aérea x 100). Os dados obtidos no estudo foram submetidos à análise de variância e, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% (BANZATTO e KRONKA, 2006). Para a realização das análises estatísticas utilizou-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes formas de manejo de aplicação dos adubos orgânicos no Neossolo Flúvico promoveram diferentes valores médios de absorção de nutrientes pelas plantas de milho (Tabela 3). Os valores médios de nitrogênio encontrados na parte aérea do milho, aos 30 dias após emergência (DAE) foram superiores nos tratamentos GS e EI + GI, aos 60 dias, no tratamento GI e aos 90 dias no tratamento GS, os quais diferiram significativamente do tratamento testemunha. As formas de aplicação de adubo com gliricídia em superfície, gliricídia incorporada e combinada com esterco, favoreceram maiores índices de absorção de nitrogênio pelo milho (Tabela 3).

No geral, os maiores teores de nitrogênio absorvido pelas plantas de milho foram alcançados no período de 30 dias. Nesse período parte do nitrogênio absorvido é utilizado na composição estrutural, às vezes não refletindo em maiores produtividades (IMSAND e TOURAINE, 1994). No entanto, os maiores teores de N absorvido pelas plantas de milho aos 60 dias, que possivelmente deve ter influenciado na produtividade dos grãos, foi observado no tratamento GI (Tabela 3), o que refletiu em maior produtividade de biomassa, de grãos e total. Esse comportamento foi observado também nos estudos realizados por Ferreira et al. (2001).

Esse comportamento pode ser justificado, possivelmente, devido ao alto teor de nitrogênio contido na biomassa da gliricídia que parece acelerar a liberação desse nutriente por apresentar poucos compostos recalcitrantes, permitindo mineralização mais rápida. Por outro lado, a combinação do esterco com gliricídia pode favorecer a liberação desse nutriente de forma mais sincronizada, uma vez que a sua mineralização é mais rápida que a do esterco puro. A gliricídia é um material de alta qualidade, por conter alto teor de N, baixa relação C/N, baixo teor de polifenol e lignina (MUNDUS, 2008) e alta taxa de mineralização (Mafongoya et al., 2000).

Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na biomassa de plantas de milho aos 30, 60 e 90 dias após o plantio o aplicação e, ou, incorporação de adubos orgânicos em Neossolo Flúvico

⁽¹⁾ Sist. de adubação	N			P			K		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
	g kg ⁻¹								
GI	22,20 b ⁽²⁾	19,10 a	9,40 c	1,93 b	2,70 c	1,40 c	42,20 b	19,30 c	16,20 b
GS	24,17 a	16,40b	11,70 a	2,10 a	3,60 a	1,50 b	46,60 a	24,20 a	17,50 b
EI+GI	23,10 a	13,50 c	8,30 c	1,80 b	2,90 b	1,70 b	37,30 c	20,80 c	16,10 b
EI+GS	21,90 c	16,50b	10,10 b	1,70 b	2,90 b	1,40 c	41,10 b	23,30 a	17,30 b
EI	22,90 b	12,80 c	10,20 b	1,90 b	2,50 c	2,10 a	46,10 a	22,10 b	15,00 c
C	21,50 c	13,50 c	10,40 b	1,90 b	2,60 b	2,10 a	45,60 a	20,30 b	19,40 a
CV (%)	13,38	27,55	20,79	13,07	19,77	23,45	21,55	15,05	22,01

⁽¹⁾Sist. = Sistemas; GI = Gliricídia incorporada ao solo antes da semeadura; GS = Gliricídia em superfície 45 dias após a semeadura; EI+GI =Esterco + Gliricídia, incorporados antes da semeadura; EI + GS = Esterco incorporado antes da semeadura e gliricídia em superfície, 45 dias após a semeadura; EI = Esterco incorporado ao solo antes da semeadura; C = Tratamento sem adição de adubo ou testemunha. ⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a de 5% de probabilidade.

A combinação, portanto, de adubos de baixa com de alta qualidade como o esterco e gliricídia, é um fator importante para os sistemas de produção, pois a disponibilidade desses adubos nas propriedades rurais na região semiárida pode ocorrer em épocas diferentes. Sendo, portanto, interessante realizar a aplicação desses adubos em dois

momentos distintos, alguns dias antes e após a emergência. Com isso poderá ajudar a minimizar o mecanismo de imobilização do N ou lixiviação. Além disso, a combinação de esterco incorporado e gliricídia aplicada em superfície, pode também retardar a liberação de N e conseqüentemente, fornecerem esse nutriente de forma simultânea e atender a demanda nutricional por culturas de subsistência, como o milho.

Mundus et al. (2008) afirmaram que a matéria orgânica de alta qualidade incorporada no solo, decompõe-se bem mais rápido do que materiais orgânicos de menor qualidade, como o esterco. Esses autores confirmaram que o esterco, quando aplicado ao solo separadamente, pode causar imobilização de N em contrapartida, quando aplicado combinado com gliricídia, apresenta disponibilidade rápida e bastante satisfatória. Devido a decomposição mais acelerada da gliricídia. Em outro estudo, Menezes e Silva (2008) observaram que a combinação de adubos verdes com esterco tem potencial de suprir os principais elementos limitantes, como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes, ao crescimento vegetal na região semiárida.

Essa estratégia de manejo de adubação parece ser uma alternativa viável e racional para o uso mais eficiente, uma vez que o agricultor poderá armazenar o esterco obtido durante o período seco e aplicar no solo poucos dias antes da semeadura das culturas agrícolas e, ainda após a semeadura, utilizar a biomassa da gliricídia obtida com a chegada das chuvas. Trabalhos realizados por Mundus et al. (2008) comprovaram também que a combinação da gliricídia com esterco, aplicados de forma parcelada, aumentaram a produção do milho em até 350% em relação ao tratamento testemunha.

Os teores de fósforo na biomassa do milho foram diferenciados entre os períodos avaliados sob o efeito dos manejos dos adubos orgânicos utilizados (Tabela 3). As plantas de milho aos 30 dias após emergência apresentaram os maiores teores de P, quando se aplicou o tratamento GS; aos 60 dias, observou-se superioridade no teor de P, para o tratamento GS, e aos 90 dias, a maior absorção de P foi alcançada quando se utilizaram os tratamentos EI e C. Maiores teores de P no solo sem aplicação dos adubos orgânicos foram observados em estudos desenvolvidos em Neossolo Flúvico (SILVEIRA et al., 2006; GARRIDO, 2009). No geral, o teor maior de P pelas plantas de milho aconteceu aos 60 dias quando aplicado o tratamento GS (Tabela 3).

Com relação aos teores de P, há, contudo, trabalhos que mostram participação da matéria orgânica, reduzindo a adsorção de P em solos, por meio de ácidos orgânicos adsorvidos bloqueando sítios de adsorção e, ou solubilizando esses oxidróxidos e reduzindo suas superfícies de adsorção (GYPPY et al., 2005). Fato que pode ser explicado

pelo esterco constituir a principal fonte de nutrientes, principalmente N e P e de matéria orgânica nas áreas de produção de culturas de subsistência, no agreste e no semiárido brasileiro, entretanto, quando aplicado combinado com adubos verdes como, por exemplo, a gliricídia, os resultados foram significativos (MENEZES e SALCEDO, 2007; MARIN et al., 2007).

Os maiores teores de K na biomassa da parte aérea das plantas do milho foram obtidos aos 30 dias após emergência (Tabela 3). A partir desse período a absorção desse nutriente foi reduzida. No período de 30 dias, a maior absorção de K pelas plantas foi obtida com os tratamentos GS, EI e C e o menor teor, quando utilizado o tratamento EI+GI. Aos 60 dias, a superioridade no teor de K pelas plantas de milho foi obtida com os tratamentos GS e EI+GS e, posteriormente aos 90 dias, o tratamento C foi o que promoveu a maior absorção de K. A aplicação de esterco incorporado e não combinado com gliricídia promoveu a menor absorção de K pelas plantas de milho. A maior contribuição do Neossolo Flúvico, sem adição de adubos orgânicos nos teores desse nutriente no solo e na biomassa vegetal foi observado em outro estudo (MENEZES e SILVA, 2008).

O acúmulo de nitrogênio na biomassa (palhada) do milho foi superior quando aplicada gliricídia de forma incorporada (Tabela 4). Ao comparar-se o acúmulo de P também na palhada não se constatou diferença significativa entre os tratamentos aplicados. Porém, verificou-se que os menores valores médios em teores de P na biomassa ocorreram na testemunha (Tabela 3). Possivelmente, a não significância quanto à extração do fósforo pelas plantas, do milho seja justificada devido ao alto teor de fósforo do Neossolo Flúvico na região em que se realizou este estudo, corroborando com os estudos realizados por Garrido (2009).

O acúmulo de K na palhada (parte aérea) apresentou comportamento semelhante ao observado pelo acúmulo de P na componente, palhada do milho (Tabela 4). Solos poucos intemperizados, como o Neossolo Flúvico apresentam a liberação adequada de K pelos feldspatos, podendo suprir a demanda desse nutriente às plantas, por alguns ciclos vegetativos (CURI et al., 2005). Outra explicação é dada por Coelho e França (1995) ao discutirem que a maior exigência do milho é por nitrogênio e potássio, seguido do cálcio, magnésio e fósforo.

Os maiores acúmulos de N nos grãos foram obtidos nos tratamentos GI, EI+GS e EI com incrementos de 100, 95 e 81%, para esses tratamentos, respectivamente (Tabela 4). Valores de acúmulos de N superiores ao encontrado com a aplicação da gliricídia incorporada ao solo foram observados por Menezes e Salcedo (2007), quando

incorporaram 15 Mg ha⁻¹ de biomassa de gliricídia em um NEOSSOLO REGOLÍTICO, verificando que esse tratamento foi superior à incorporação de 20 Mg ha⁻¹ de esterco nesse solo.

O acúmulo de P nos grãos em todas as formas de manejo e aplicação das fontes de adubação foram superiores a testemunha, porém não houve diferença significativa entre os tratamentos com aplicação de adubos orgânicos (Tabela 4). Fato semelhante foi observado para o teor de K nos grãos, em que os efeitos dos adubos orgânicos avaliados foram superiores quando comparados a testemunha, mas não se diferenciaram também entre si (Tabela 4). Esses resultados já eram previstos uma vez que o solo da área experimental possui altos teores desse nutriente (Tabela 1), o que possivelmente justifica a ausência de efeito significativo entre os tratamentos avaliados.

Os acúmulos de P na palhada do milho no presente estudo foram semelhantes aos obtidos por Santos et al. (2010), quando cultivou milho em sistemas em aléia, com aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de esterco e 20 Mg ha⁻¹ de biomassa de gliricídia em um NEOSSOLO REGOLÍTICO. Quando se refere aos acúmulos de nutrientes nos grãos, o presente estudo foi superior aos valores de acúmulos obtidos.

No geral, as maiores quantidades de nitrogênio exportadas pelas plantas de milho (palhada e grãos) foram obtidas pelos tratamentos GI, EI + GS e EI, com valores extraídos correspondentes a 35,8, 29,3 e 27,2 kg ha⁻¹ de N; para o fósforo, os manejos dos adubos orgânicos, que favoreceram as maiores exportações desse nutriente pelas plantas de milho foram EI+GI, EI+GS, GS e C, com valores exportados correspondentes a 5,0, 4,5, 4,4 e 4,4 kg ha⁻¹ de P; e para a exportação do potássio, os manejos dos adubos orgânicos que favoreceram as maiores exportações desses nutrientes foram GI, EI+GI e GS, com valores correspondentes a 22,3, 20,9 e 18,9 kg ha⁻¹ de K (Tabela 4).

Tabela 4. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na biomassa (palhada) e grãos de milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico. Taperoá-PB

Sistemas de Adubação	N	P	K
Biomassa parte aérea			
----- kg ha ⁻¹ -----			
GI	16,6 a ⁽¹⁾	1,5 a	15,7 a
GS	8,4 b	1,8 a	12,4 a
EI + GI	10,6 b	2,6 a	14,9 a
EI + GS	10,6 b	2,2 a	10,5 a
EI	9,8 b	2,0 a	11,8 a
C	7,6 b	2,9 a	10,3 a
CV. (%)	34,7	52,45	43,86
-----Grãos -----			
GI	19,2 a	2,8 a	6,6 a
GS	15,5 b	2,6 a	6,5 a
EI + GI	14,4 b	2,4 a	6,0 a
EI + GS	18,7 a	2,3 a	7,6 a
EI	17,4 a	2,2 a	6,4 a
C	9,6 c	1,5 b	4,7 b
CV (%)	12,59	15,6	13,37

GI =Gliricídia incorporada ao solo antes da semeadura; GS = Gliricídia em superfície aos 45 dias após a semeadura; EI + GI =Esterco + Gliricídia, incorporados antes da semeadura; EI + GS = Esterco incorporado antes da semeadura e gliricídia em superfície, 45 dias após a semeadura; EI = Esterco incorporado ao solo antes da semeadura; C = Tratamento sem adição de adubo ou testemunha. ⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a de 5% de probabilidade

A utilização de adubos orgânicos em diferentes formas e épocas de aplicação proporcionou diferentes produções de biomassa e grãos do milho (Tabela 5). A produtividade da biomassa da parte aérea do milho foi superior quando se aplicaram os tratamentos com gliricídia incorporada ao solo (GI) e, esterco e gliricídia incorporada (EI+GI), que favoreceram a maior produtividade, com incrementos de 30 e 25%, respectivamente, enquanto que para produtividade de grãos e índice de colheita não houve diferença significativa entre os adubos orgânicos, porém houve diferenças entre os tratamentos de adubos orgânicos e a testemunha (Tabela 5). Estudos realizados na região Nordeste com o uso de adubos orgânicos, como a gliricídia e o esterco obtiveram produtividades superiores às obtidas no presente estudo, como pode ser verificado em Silva et al. (2004), Menezes e Salcedo (2007) e Heirichs et al. (2005).

A aplicação da gliricídia, que apresenta alto teor de N na biomassa (Tabela 2), principalmente quando combinada com esterco, pode ter ocorrido devido à liberação de N de forma sincronizada no solo, contribuindo para a maior absorção pelas plantas de milho. A produção total (biomassa + grãos) foi superior quando se aplicou a biomassa de

gliricídia incorporada (GI), que favoreceu um aumento de aproximadamente 40,2% em relação ao tratamento testemunha sem aplicação de adubos orgânicos (Tabela 5).

Em estudo realizado por Mundus (2008) aplicando 50% da biomassa da gliricídia na semeadura do milho e os 50% restantes, 41 dias após a semeadura levou a uma maior produtividade do milho em comparação ao tratamento testemunha, mas não em relação com a mistura de esterco e gliricídia. Em outro estudo, também em um NEOSSOLO REGOLÍTICO, avaliando a produtividade do milho submetido à aplicação de 20 Mg ha⁻¹ de biomassa de gliricídia e o esterco incorporado ao solo, Marin et al. (2007) obtiveram em três cultivos consecutivos, produtividades de grãos maiores comparadas com as do presente estudo.

Tabela 5. Produtividade de biomassa (Prod. Biomassa), de grãos (Prod. Grãos), total (Prod. Total) e índice de colheita (I.C.) do milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico. Taperoá-PB, 2009

Sistemas de adubação	*Prod. Biomassa	Prod. Grãos	Prod. total	I.C.
	-----kg ha ⁻¹ -----			%
GI	1302 a ⁽¹⁾	824 a	2126 a	39,19 a
GS	1062 b	779 a	1841 b	42,83 a
EI + GI	1250 a	731 a	1981 b	36,90 a
EI + GS	1062 b	806 a	1868 b	43,25 a
EI	1000 b	788 a	1788 b	44,42 a
C	1000 b	516 b	1516 c	34,3 a
CV (%)	17,29	9,20	11,21	12,34

*Prod = produtividade; I.C. = índice de colheita. GI = Gliricídia incorporada ao solo antes da semeadura; GS = Gliricídia em superfície 45 dias após a semeadura; EI+GI = Esterco + Gliricídia, incorporados antes da semeadura; EI+GS = Esterco incorporado antes da semeadura e gliricídia em superfície, 45 dias após a semeadura; EI = Esterco incorporado ao solo antes da semeadura; C = Tratamento sem adição de adubo ou testemunha. ⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a de 5% de probabilidade

CONCLUSÕES

A aplicação da gliricídia isolada ou combinada com o esterco favoreceu maior disponibilidade de nutrientes no solo e a demanda de nutrientes pelo milho.

A aplicação da gliricídia isolada ou combinada com esterco favoreceu as maiores exportações de nutrientes, através da palhada e dos grãos pelo milho na região semiárida da Paraíba.

A aplicação de biomassa da gliricídia incorporada de forma isolada ou combinada com esterco no Neossolo Flúvico é recomendada para o incremento da produtividade do milho por promover rápida liberação do nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) MCT/CNPq/CT-Agronegócio Nº 43/2008, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo IBPG-1662-5.01/08, pelo apoio financeiro com vistas à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Second edition. CAB International. 1993. 221p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP. 2006, 237p.

BARRETO, A.C.; Fernandes, M.F. Cultivo de *Gliricídia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA,. v.2, cap.31, p.595-624, 1982.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA,. v.2, cap.31, p.595-624, 1982.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p. (Arquivo do Agrônomo, 2).

CONABE - Companhia Nacional de Abastecimento (2011). Séries históricas. Acessado em 13 de fevereiro de 2011.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: Yamada, T.; Roberts, T.L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2005. P.71-91.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Informática Agropecuária (Brasília, DF). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1ª ed., 1999. 370p.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola*, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

GARRIDO, M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: Rômulo S. C. Menezes; Everardo V.S.B. Sampaio; Ignácio H. Salcedo. (Org.). *Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido*. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008, p.123-140.

GARRIDO, M.S. Adubação com gliricídia e esterco em culturas do semiárido nordestino. Recife: UFPE-PROTEN, 2009. 80p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; WOOD, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australia, Journal of Soil Science*. v.43, p.1989-202, 2005.

IMSAND, J.; TOURAINE, B.N. Demand and regulation of nitrate uptake. *Plant Physiology*, v.195, p.3-7, 1994.

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

HEINRICHS, R.; VITTI, G.C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M.; Fancelli, A.L.; Corazza, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.71-79, 2005.

JUNHO, A.P.; ROMERO, M.A.; BRUNA, G.C. Curso de gestão ambiental: Manole, São Paulo, 2004. 276p.

MAFONGOYA, P.L.; BARAK, P.; REED, J.D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.30, p.298-305, 2000.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C; SALCEDO, I.H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubadas com duas fontes orgânicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.5, p.669-677, 2007.

MENEZES, R.S.C; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.4, p.361-367, 2007.

MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.12, n.3, p.251-257, 2008.

MOREIRA, F.M.S.; Siqueira, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MUNDUS, S.; MENEZES, R.S.C.; NEERGAARD, A.; GARRIDO, M.S. Maize growth and soil nitrogen availability after fertilization with cattle manure and/or gliricídia in semi-arid NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.4, p.61-73, 2008.

MURPHY, J.; RILLEY, J. P. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v.27, n.12, p.31-36, 1962.

PALM, C.A; GILLER, K.E.; MAFONGOYA, P.L.; SWIFT, M.J. Manegement of organic matter in tropics: translating theory into practice. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. Germany, v.28, n.61 p.63-75, 2001.

POOLE, C.P.; FARACH, H.A. The Theory of magnetic resonance. New York: John Wiley, 1972. 452p.

SANTOS, A.F.; MENEZES, R.S.C.; FRAGA, V.S.; MARIN, A.M.P. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1267-1272, 2010.

SNYDER, J.D.; TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil sample. In *Comm. Soil Science Plant Analysis*. v.15, n.5, p.587-597, 1984.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GODIN, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R. BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília*, v.14, n.5 p.879-882, 2006.

SILVA, J.; SILVA, P.S.L.; OLIVEIRA, M.; SILVA, K.M.B. Efeito de esterco bovino sobre rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. *Horticultura Brasileira, Brasília*, v.22, n.2, p.326-331, 2004.

SILVEIRA, M.M.L.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, E.V.S.B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.281-291, 2006.

TIESSSEN, H., SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61:99-103, 2001.

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W.; MOYER, J.R. Comparasion of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy Journal, Madison*, v.59, n.3, p.240-243, 1967.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal Association of Official Agricultural Chemists* v.46, p.829-835, 1963.

CAPÍTULO 3

BIOMASSA E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES PELO MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES MANEJOS DE ADUBOS ORGÂNICOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL

**BIOMASSA E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES PELO MILHO SUBMETIDO A
DIFERENTES MANEJOS DE ADUBOS ORGÂNICOS
NA REGIÃO BRAZIL SEMIÁRIDA**

RESUMO - Visou-se neste estudo avaliar o efeito do manejo dos adubos orgânicos na dinâmica de absorção de nutrientes e produtividade do milho (*Zea mays* L.) na região semiárida da Paraíba. O experimento foi conduzido no município de Taperoá, PB, localizado na microrregião do Cariri paraibano, no período de fevereiro a julho de 2009 com oito tratamentos e quatro repetições em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial $(3 \times 2) + 2$, constituído por 15 Mg ha⁻¹ de biomassa de marmeleiro (*Croton sonderianus*), de biomassa de gliricídia (*Gliricídia sepium*) ou de esterco bovino, dois modos de aplicação, em superfície e incorporado e, duas testemunhas, com e sem revolvimento do solo. A aplicação da biomassa da gliricídia e do esterco promoveu as maiores produtividades de biomassa e grãos de milho, e maiores acúmulos de nutrientes pelo milho. O modo de aplicação dos adubos orgânicos em superfície favoreceu uma maior sincronização entre a liberação de nutrientes e a demanda de nutrientes pelo milho. O acúmulo de nutrientes na biomassa da parte aérea do milho seguiu a seguinte sequência em ordem decrescente: K > N > P, enquanto que, para os grãos essa sequência foi N > K > P.

Palavras-chave: Adubação; Absorção de nutrientes; Produtividade; *Zea mays* L.

**BIOMASS AND EXTRACTION OF CORN NUTRIENTS BY SUBMITTED TO
DIFFERENT ORGANIC FERTILIZER MANAGEMENTS
IN THE SEMIARID REGION**

ABSTRACT - This study aimed to evaluate the management effect of organic fertilizers on the dynamics of nutrient uptake and yield of maize (*Zea mays* L.) in semiarid region of Paraíba. The experiment was conducted in the municipality of Taperoá, PB, located in the micro Cariri region in the period from february to august 2009 with eight treatments and four replications in randomized blocks in factorial scheme (3 x 2) +2 consisting of 15 Mg/ha⁻¹ biomass of quince (*Croton sonderianus*), biomass of gliricídia (*Gliricídia sepium*) or cattle manure, two different ways in surface and embedded, and two witnesses, with and without soil revolving. The application of gliricídia biomass and manure promoted the highest yield of biomass and corn grain, and higher accumulation of nutrients by corn. The mode of application of organic fertilizers in surface favored greater synchronization between nutrient release and nutrient demand for corn. The accumulation of nutrients in aboveground biomass of maize followed the following sequence in descending order: K> N> P, while this sequence for grain was N> K> P.

Keywords: Fertilization; Absorption of nutrients; Productivity; *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

Os agroecossistemas da região semiárida na região Nordeste do Brasil possuem limitada disponibilidade hídrica (MENEZES e SAMPAIO, 200). Sampaio et al. (1995) encontram solos que são naturalmente deficientes em nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo. Como agravante, o uso de insumos químicos é limitado, tornando importante o uso eficiente e racional dos recursos naturais disponíveis (MENEZES e SALCEDO, 2007) como à adubação verde orgânica, para melhor utilização da biomassa das plantas dessa região visando à melhoria da fertilidade do solo durante o ciclo vegetativo das espécies vegetais, além de representar uma alternativa na construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Como adubo orgânico mais utilizado na agricultura nordestina, tem-se o esterco caprino, ovino e bovino, porém a sua eficiência depende do grau de decomposição, da origem do material, da dosagem empregada e mesmo da forma como é aplicado ao solo (SILVA et al., 2005). Apesar da importância dos adubos orgânicos, tanto para a disponibilidade de nutrientes em curto prazo quanto para manutenção da matéria orgânica do solo em longo prazo, pouco tem sido estudado sobre o manejo desses materiais (PALM et al., 2001). Um dos fatores que podem interferir na decomposição dos adubos verdes é a forma como esses são adicionados ao solo, se incorporado ou em superfície, sendo que a segunda opção proporciona maior conservação de água no solo, por este permanecer coberto por mais tempo (MUNDUS et al., 2008).

As pesquisas envolvendo o modo de aplicação de adubos orgânicos e a produtividade de culturas agrícolas, em particular a do milho na região semiárida nordestina, ainda são incipientes. Essa situação demanda o desenvolvimento de pesquisas aplicadas, que busquem melhores índices de produtividade e que favoreçam os princípios de conservação do solo. Entre os adubos orgânicos, o esterco bovino tem sido o mais utilizado pelos agricultores familiares dessa região, uma vez que esse é mais acessível comparado aos fertilizantes minerais (SILVA et al., 2007).

Outra alternativa que também pode ser viável é a utilização da adubação verde, utilizando biomassa vegetal proveniente da poda de leguminosas, como *Gliricídia sepium* Jacq. Walp que é resistente à seca e utilizada como forragem pelos agricultores (MENEZES e SALCEDO, 2007). Também tem sido utilizado em estudo de adubação orgânica, o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.) de forma isolada ou combinada

com o esterco (ALVES, 2009), uma forma de buscar maior sincronização dos nutrientes para as culturas (MARIN et al., 2006). Assim objetivou-se no presente trabalho avaliar a influência do manejo de diferentes adubos orgânicos sobre a dinâmica de absorção de nutrientes e produtividade de biomassa e grãos pelo milho na região semiárida da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Taperoá, PB, de fevereiro a junho de 2009, na região do Cariri paraibano, localizado nas coordenadas 07°12'10,8''S e 36°49'42,6''W, com declividade em torno de 2% e altitude média de aproximadamente 520 m. A precipitação média anual dessa região é 500 mm, distribuída entre os meses de fevereiro a julho (Figura 1). Os dados referentes à precipitação pluviométrica local durante o período experimental foram obtidos diariamente e contabilizados mensalmente durante o período de condução do experimento. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico de textura média cuja caracterização físico-química determinada pelas metodologias adotadas pela EMBRAPA (1999) encontra-se na tabela 1.

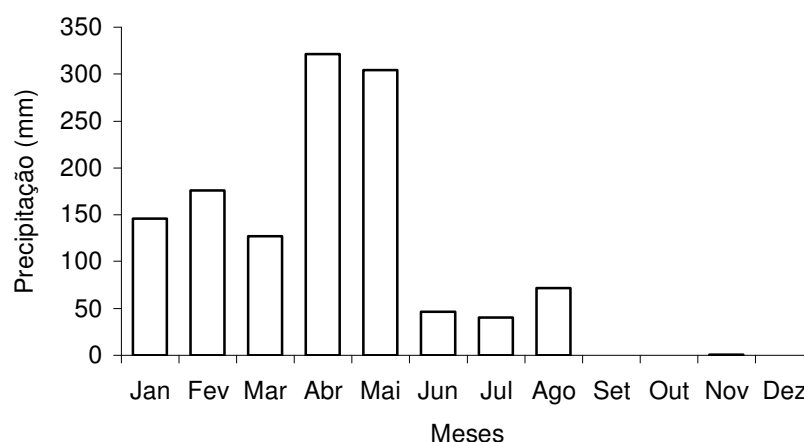


Figura 1. Precipitação total mensal da Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, PB, no ano 2009.

Os adubos orgânicos utilizados consistiram em: marmeleiro, esterco bovino e gliricídia e a composição química dos materiais orgânicos utilizados nas parcelas experimentais antes do plantio do milho (*Zea mays* L.) encontra-se na tabela 2, e consistiram nas concentrações de polifenóis, lignina, C, N, P, K, Ca e Mg. O polifenol solúvel foi determinado segundo Anderson e Ingram (1993), a lignina pelo método da fibra em detergente ácido (FDA) segundo Van Soest (1963). O carbono foi determinado por

oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (SNYDER e TROFYMOW, 1984).

Tabela 1. Composição físico-química do Neossolo Flúvico antes da aplicação dos adubos e plantio do milho

CARACTERÍSTICAS	NEOSSOLO FLÚVICO
pH (H ₂ O)	6,74
pH (KCl)	5,78
P extraível (mg kg ⁻¹)	299
K extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,25
Ca extraível (cmol _c kg ⁻¹)	3,95
Mg extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,62
Na extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,10
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,00
Al + H (cmol _c kg ⁻¹)	1,32
SB (cmol _c kg ⁻¹)	4,92
CTC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹)	6,24
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	5,02
V(%)	78,0
COT (g kg ⁻¹)	8,80
NT (g kg ⁻¹)	0,50
Areia (g kg ⁻¹)	532
Silte (g kg ⁻¹)	203
Argila (g kg ⁻¹)	265

Para determinação das concentrações totais de N, P e K, o esterco com teor de cinzas equivalente a 80% e a gliricídia foram digeridos, com uma mistura de ácido sulfúrico e água oxigenada (Thomas et al., 1967). O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982), o fósforo total por digestão sulfúrica e colorimetria (MURPHY e RILEY, 1962), o potássio total por digestão sulfúrica e fotometria de chama, e o cálcio e magnésio por digestão sulfúrica e absorção atômica (EMBRAPA, 1999).

O esterco bovino foi adquirido nas propriedades rurais da região citada anteriormente, o marmeleiro e a gliricídia foram provenientes de árvores localizadas próximas à área experimental. A aplicação da gliricídia e do marmeleiro foi feita no mesmo dia em que foram coletados, sendo os ramos cortados com facão em pedaços com tamanhos entre 1 a 3 cm aproximadamente. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com oito tratamentos e quatro repetições arranjados em um esquema fatorial (3 x 2) + 2 correspondente a três adubos, dois tipos de manejo (incorporado e em superfície), e duas testemunhas, com e sem revolvimento do solo a 10 cm de profundidade.

Tabela 2. Caracterização química dos adubos utilizados no experimento

Materias	PF*	Lig	COT	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	%				gkg ⁻¹ (base seca).....				
Gliricídia	2,1	13,1	385	31,0	5,4	21,0	21,0	4,5	12,4
Esterco	-	18,6	125	12,0	5,5	27,0	27,0	6,2	10,4
Marmeleiro	3,6	16,0	410	17,0	3,5	12,0	12,0	3,1	24,1

*PF = Polifenóis; Lig = lignina; COT= Carbono orgânico total; N = Nitrogênio total; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; constituinte dos adubos orgânicos.

As formas de aplicação dos adubos orgânicos foram feitas nas parcelas em 2007 e continuaram em 2008 e 2009 momentos antes do plantio do milho. Os tratamentos consistiram em: T₁ - Testemunha, sem aplicação dos adubos orgânicos e sem revolvimento do solo, T₂ - Testemunha, sem aplicação dos adubos orgânicos e com revolvimento do solo na época do plantio do milho; T₃ - aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de biomassa da gliricídia na superfície do solo, T₄ - aplicação e incorporação com auxílio de enxada de 15 Mg ha⁻¹ de biomassa da gliricídia no solo, T₅ - aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de biomassa do marmeleiro na superfície do solo, T₆ - aplicação e incorporação de 15 Mg ha⁻¹ de biomassa do marmeleiro do solo; T₇ - aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de esterco bovino curtido na superfície do solo e T₈ - aplicação e incorporação de 15 Mg ha⁻¹ de esterco bovino no solo.

O esterco, o marmeleiro e a gliricídia foram aplicados em doses equivalentes a 15 Mg ha⁻¹ de matéria fresca, sendo a dose de 15 Mg ha⁻¹ de matéria fresca, equivalente aproximadamente a 3,5; 5,7 e 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca de gliricídia, marmeleiro e esterco respectivamente. Com base na caracterização da gliricídia, marmeleiro e esterco (Tabela 1) adição anual em kg ha⁻¹ ao solo de aproximadamente 108,5; 18,9 e 73,5 de N, P e K total com a biomassa da gliricídia; 96,9; 19,9 e 68,4 com a biomassa do marmeleiro e 120, 55,0 e 270,0 com o esterco, respectivamente.

Utilizou-se a mesma dose para os três tipos de adubos por ser a mais adotada em adubação orgânica na região semiárida do Nordeste brasileiro. As folhas e os galhos finos de gliricídia e marmeleiro (com no máximo 1 cm de diâmetro) foram cortados em tamanhos de aproximadamente 5 a 10 cm, com auxílio de um facão e em seguida aplicados nas unidades experimentais incorporados e em superfície manualmente com auxílio de enxada.

As sementes de milho utilizadas foram da cultivar sergipano a mais comercial na região, plantadas no espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m covas. As parcelas experimentais continham dimensões de 5 x 4 m (20m²) 1m de bordadura na largura e 3 x 4m (12m²) de área útil. Foram semeadas oito sementes por cova e 15 dias após a

semeadura foi feito desbaste deixando apenas 4 plântulas por cova totalizando 80.000 plantas por hectare. A área experimental foi mantida limpa através de capinas manuais com enxada. Realizaram-se quatro coletas de 10 plantas por parcela experimental, para quantificar a absorção de N, P e K total a cada trinta dias até ao final do ciclo vegetativo.

As plantas foram moídas em forrageira e posteriormente secas em estufa de circulação forçada a 65°C para obtenção de massa constante, em seguida moídas em moinho tipo Wiley e feitos os extratos por meio de digestão com peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico (THOMAS et al., 1967) e determinados as concentrações de nitrogênio pelo método de Kjeldahl (Bremner e Mulvaney, 1982) o de fósforo total por digestão sulfúrica e colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e o de K total por digestão sulfúrica e fotometria de chama (EMBRAPA, 1999).

Os dados obtidos relativos à produtividade de biomassa, de grãos e total (biomassa e grãos), acúmulo de nutrientes na biomassa e nos grãos, e o índice de colheita (razão entre a massa seca dos grãos e massa seca total da parte aérea) do milho, foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (BANZATTO e KRONKA, 2006) e feito interação entre adubos e formas de aplicação utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os adubos orgânicos quando aplicados no Neossolo Flúvico influenciaram significativamente na produção do milho na região semiárida do estado da Paraíba. A aplicação em superfície dos adubos orgânicos proporcionou a maior produção de biomassa do milho (1941 - 2538 kg ha⁻¹) com relação à aplicação e incorporação desses adubos ao solo, que teve uma faixa de variação de 1991 - 2299 kg ha⁻¹, porém, não houve efeito significativo entre os tratamentos dentro de cada modo de aplicação dos adubos (Tabela 3).

Apesar dos resultados obtidos de produção de biomassa do milho apresentar rendimento maior em relação ao tratamento testemunha, com a forma de aplicação da adubação, os mesmos são inferiores aos encontrados por Menezes e Salcedo (2007), com a cultura do milho submetido a esterco e gliricídia na região do Agreste da Paraíba. Porém demonstram que esse manejo de adubação tem potencial para a região semiárida do Nordeste brasileiro. Efeitos significativos na produtividade do milho foram verificados na Espanha por Tejada et al. (2008), avaliando o efeito da incorporação de três adubos verdes

originados dos resíduos de *Trifolium pratense* L., *Brassica napus* L. e a mistura de Trifolium + Brassica na proporção 1:1.

Tabela 3. Produtividade de biomassa (Prod. Biomassa), de grãos (Prod. Grãos), total (Prod. Total) e índice de colheita (I.C.) do milho após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico Taperoá - PB, 2009.

Trat.	Prod. Biomassa		Prod. Grãos		Prod. total		I.C.	
	-----kg ha ⁻¹ -----						%	
	⁽¹⁾ S	⁽²⁾ I	S	I	S	I	S	I
Controle	2537 aA ⁽³⁾	2190 aA	1222 bA	1464 aA	3760 abA	3654 aA	31,8 bB	40,0 aA
Glicircídia	2540 aA	1991 aB	1854 aA	1729 aA	4392 aA	3720 aB	42,3 aA	46,6 aA
Esterco	2538 aA	2299 aA	1453 abA	1442 aA	3992 abA	3732 aA	36,4 abA	38,6 aA
Marmeleiro	1941 aA	2090 aA	1490 abA	1704 aA	3431 bA	3794 aA	44,2 aA	45,2 aA
C.V. (%)	14,77		14,15		11,02		12,79	

(¹)S - sem incorporação dos adubos orgânicos no Neossolo Flúvico antes da semeadura do milho; (²)I - com incorporação dos adubos orgânicos antes da semeadura do milho. (³)Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, dentro de cada variável avaliada e nas linhas dentro de cada modo de aplicação dos adubos orgânicos não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A produção média de 1,600 kg ha⁻¹ de grãos foi superior à média para a região Nordeste, que é de 700 kg ha⁻¹ Menezes et al. (2000). No entanto, essa produtividade de grãos foi maior quando se aplicou a glicircídia em superfície, diferindo do tratamento controle. Essa superioridade correspondeu a um ganho em produção de grãos de 51,7%, quando se aplicou a glicircídia em relação ao tratamento testemunha (Tabela 3).

Em outro estudo na região agreste da Paraíba, (MENEZES e SALCEDO, 2007), obtiveram produtividade de grãos para a cultura do milho superiores as do presente estudo, após aplicação de 20 Mg ha⁻¹ de esterco e 15 Mg ha⁻¹ de biomassa de glicircídia, com produtividades variando de 4,0 a 5,4 Mg ha⁻¹ de grãos. Enquanto Mundus et al., (2008), na mesma região do estudo anterior, avaliando diferentes fontes de adubos orgânicos aplicados em modos distintos encontraram produtividades do milho inferiores as obtidas neste estudo.

A produção total (palhada e grãos) apresentou superioridade com o tratamento glicircídia aplicado em superfície, que apresentou efeito significativo em relação ao tratamento com marmeleiro. Esse incremento correspondeu a um aumento de 28% na produção de biomassa total. A produção de biomassa continuou sendo superior, quando se utilizou o tratamento glicircídia em superfície, quando se comparou com o modo de aplicação incorporado ao solo (Tabela 3).

Verificou-se que a produção de biomassa correspondeu a 57,8% da produção de biomassa total no tratamento glicircídia sem incorporação ao solo, enquanto no tratamento

marmeleiro aplicado em superfície essa produção foi de 56,6% da produção total. Entretanto, verificou-se que a aplicação desses adubos nesse manejo indicou uma diferença entre si de produção de grãos correspondente a 961 kg ha⁻¹ (Tabela 3). No geral a produção de grãos do milho (Tabela 3) foi semelhante à média para a região Nordeste, 1474 kg ha⁻¹ para o ano de 2008/2009, porém superior à média do estado da Paraíba, 666 kg ha⁻¹ para o mesmo período (CONAB, 2010).

No Agreste paraibano Menezes e Salcedo (2007), encontraram valores de produção total de biomassa seca para o milho, cultivado em um Neossolo Regolítico superiores (12541 - 13858 kg ha⁻¹) aos encontrados no presente estudo (3431 - 4392 kg ha⁻¹), com o milho cultivado em um Neossolo Flúvico que também apresenta uma adequada fertilidade, porém, deve-se ressaltar que a média de precipitação pluviométrica no Agreste paraibano é de 800 mm, superior a da região onde foi realizado o presente estudo (500 mm), apesar de seguir a mesma distribuição.

O efeito da aplicação da biomassa da gliricídia e do marmeleiro em superfície em relação à produtividade de grãos foi significativamente superior ao tratamento controle. Essa diferença correspondeu a incrementos de 33 e 39% respectivamente. Esse resultado indica a capacidade agrônômica desses adubos verdes serem utilizados na região semi-árida pelos agricultores familiares, embasado no seu alto teor de nitrogênio (Tabela 2) a ser fornecido as culturas de subsistência.

Avaliando-se os modos de aplicação dos adubos (superfície ou incorporados) verificou-se que apenas os tratamentos testemunhas com e sem revolvimento do solo diferiram entre si. O tratamento testemunha com revolvimento promoveu maior índice de colheita. Quando comparou-se a produtividade de grãos notou-se também que essa forma de manejo, promoveu maior produção de grãos (Tabela 3).

No geral os valores de índices de colheita, para a cultura do milho nesse estudo foram superiores aos encontrados por Garrido (2009) no município de Taperoá, em um Neossolo Flúvico, avaliando época e modo de aplicação da biomassa da gliricídia e do esterco, para as culturas do milho, feijão e algodão consorciados.

O acúmulo de nitrogênio na biomassa da parte aérea do milho não apresentou efeito significativo entre os tratamentos avaliados tanto no modo de aplicação dos adubos em superfície, quanto no modo incorporado ao solo (Tabela 4). Quando se comparou os modos de aplicação dos adubos, verificou-se que a biomassa da gliricídia apresentou superioridade quando aplicada em superfície em relação quando incorporada ao solo. Evidencia-se dessa forma (Tabela 2), que a biomassa da gliricídia proporcionou maior

entrada de N no sistema solo-planta, liberando esse nutriente e atendendo a demanda nutricional das plantas de milho. A aplicação da gliricídia em superfície também favoreceu maior acúmulo de P, diferindo-se significativamente do tratamento testemunha.

Tabela 4. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em biomassa e grãos de milho em função de diferentes modos de aplicação de adubos orgânicos em Neossolo Flúvico Taperoá-PB, 2009.

Tratamentos	N		P		K	
	Biomassa parte aérea					
	-----kg ha ⁻¹ -----					
	S ⁽¹⁾	I ⁽²⁾	S	I	S	I
Controle	24,6 aA ⁽³⁾	20,5 aA	3,4 bA	4,1 aA	24,5 aA	20,5 aA
Esterco	24,7 aA	22,8 aA	4,5 abA	4,1 aA	29,2 aA	20,0 aA
Gliricídia	27,0 aA	16,1 aB	6,5 aA	2,8 aB	28,7 aA	30,0 aA
Marmeleiro	21,1 aA	16,7 aA	4,9 abA	4,1 aA	20,8 aA	21,2 aA
C.V. (%)	22,03		29,14		27,67	
	Grãos					
Controle	24,8 bB	33,2 aA	4,3 cA	5,6 aA	11,7 cB	22,6 aA
Esterco	33,6 abA	28,8 aA	7,0 abA	6,5 aA	26,5 aA	14,0 bB
Gliricídia	36,6 aA	36,1 aA	8,2 aA	7,1 aA	18,3 bA	22,8 aA
Marmeleiro	29,8 abA	31,3 aA	5,8 bcA	7,1 aA	15,2 bcB	19,4 aA
C.V. (%)	14,90		15,77		13,13	

⁽¹⁾S - sem incorporação dos adubos orgânicos antes da semeadura do milho; ⁽²⁾I - com incorporação dos adubos orgânicos antes da semeadura do milho. ⁽³⁾Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, dentro de cada variável avaliada e nas linhas dentro de cada modo de aplicação dos adubos orgânicos não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O acúmulo de K na biomassa da parte aérea foi semelhante em todos os tratamentos. Fato explicado por Curi et al. (2005), que afirmam que em solos poucos intemperizados, como o Neossolo Flúvico (Tabela 1) a liberação de K pelos feldspatos é capaz de suprir a demanda de potássio das plantas, por alguns ciclos. De acordo com Coelho e França, (1995), a maior exigência do milho é por nitrogênio e potássio, seguido pelo cálcio, magnésio e fósforo.

O maior acúmulo de N nos grãos no modo em superfície foi alcançado também com a aplicação da gliricídia em superfície, que apresentou superioridade em relação ao tratamento testemunha. Acúmulos de N superiores e similaridade com a superioridade da gliricídia também foram observados por Menezes e Salcedo (2007) quando avaliaram a incorporação de 15 Mg ha⁻¹ de biomassa de gliricídia ao solo, verificando que esse tratamento foi superior à incorporação de 20 Mg ha⁻¹ de esterco e a não aplicação de adubos orgânicos ao solo.

No geral, no acúmulo de nitrogênio e fósforo na biomassa da parte aérea do milho, os tratamentos com os adubos não incorporados ao solo apresentaram superioridade em relação aos tratamentos com incorporação, entretanto, com maior ênfase para a aplicação

da biomassa da gliricídia. Esse incremento correspondeu a 33,8% no acúmulo de N nos grãos (Tabela 4).

O acúmulo de P nos grãos foi maior com a aplicação da gliricídia em superfície no solo, que foi superior aos tratamentos testemunha e marmeleiro (Tabela 4), com aumentos correspondendo a 90,6 e 41,3%, respectivamente. Para o teor de K nos grãos, quando aplicado em superfície, a aplicação com esterco foi superior aos demais tratamentos com incrementos no teor de K nos grãos de 45, 74 e 126% em relação aos tratamentos gliricídia, marmeleiro e a testemunha, respectivamente.

O revolvimento do solo favoreceu o maior acúmulo de K nos grãos, comportamento semelhante ao acúmulo de N e P. A aplicação do esterco em superfície foi mais eficiente que o modo incorporado no acúmulo de K nos grãos de milho (Tabela 4). Nos grãos o nutriente acumulado em maior quantidade foi o nitrogênio seguido do potássio, fato também verificado em outros estudos (GARRIDO, 2009; MARIN et al., 2006).

CONCLUSÕES

A utilização do esterco bovino curtido com biomassa da gliricídia comprovou ser uma boa alternativa de fertilização do solo, para a obtenção de adequadas produtividades do milho na região semiárida.

O modo de aplicação dos adubos orgânicos em superfície favoreceu maior liberação de nutrientes para a cultura do milho.

O acúmulo de nutrientes na biomassa parte aérea do milho seguiu a seguinte sequência em ordem decrescente: $K > N > P$, enquanto que, para grãos essa sequência foi $N > K > P$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) MCT/CNPq/CT-Agronegócio Nº 43/2008, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo IBPG-1662-5.01/08, pelo apoio financeiro à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R.N. Qualidade e decomposição de materiais orgânicos presentes em propriedades rurais do semiárido. Recife: UFPE-PROTEN, 2009. 71p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Second edition. CAB International. 1993. 240p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP. 2006, 237p.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA,. v.2, cap.31, p.595-624, 1982.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p. (Arquivo do Agrônomo, 2).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Séries históricas, 2010. Acessado em 23 de agosto de 2010.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p.71-91.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Informática Agropecuária (Brasília, DF). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1. ed., 1999. 370p.

FERREIRA, D.S. SISVAR: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

GARRIDO, M.S. Adubação com gliricídia e esterco em culturas do semi-árido nordestino. Recife: UFPE, 2009. 80p. Tese de Doutorado (Tecnologias Energéticas e Nucleares).

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da Gliricídia sepium sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa v.30, n.3, p.555-564, 2006.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande v.11, n.4, p.361-367, 2007.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semiárido nordestino. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JR., R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J.R.C. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.21-45.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2a ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MUNDUS, S.; MENEZES, R.S.C.; NEERGAARD, A.; GARRIDO, M.S. Maize growth and soil nitrogen availability after fertilization with cattle manure and/or gliricídia in semiarid NE Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. Germany, v.82, n.4, p.61-73, 2008.

MURPHY, J.; RILLEY, J. P. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v.27, n.12, p.31-36, 1962.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M.; ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa v. 20, n.2, p.69-279. 1995.

SILVA, M.N.B.; BELTRÃO, N.E.M.; CARDOSO, G.D. Adubação do algodão colorido BRS 200 em sistema orgânico no Seridó paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.2, p.222-228, 2005.

SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVEIRA, L.M. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I. Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.1, p.39-49, 2007.

SNYDER, J.D.; Trofymow, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v.15, n.5, p.587-597. 1984.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L.; GARCIA-MARTINEZ, A.M.; PARRADO, J. Effects of different Green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology*. Miramar, v.99, n.2, p.1758-1767, 2008.

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W.; MOYER, J.R. Comparasion of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy Journal*, Madison, v.59, n.3, p.240-243, 1967.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal Asciation of Official Agricultural Chemists* v.46, p.829-835, 1963.

CAPÍTULO 4

ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA POR OLEAGINOSAS CONSORCIADAS SOB ADUBAÇÃO COM ESTERCO E GLIRICÍDIA

ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA POR OLEAGINOSAS CONSORCIADAS SOB ADUBAÇÃO COM ESTERCO E GLIRICÍDIA

RESUMO - A adubação orgânica pode ser uma alternativa viável para aumentar a produtividade das culturas oleaginosas no semiárido do Nordeste brasileiro. Foram avaliadas as concentrações de nutrientes, o índice de colheita e a produtividade de biomassa total em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) e de algodão (*Gossipium hirsutum* L.) adubadas com esterco bovino e/ou ramas de gliricídia (*Gliricídia sepium* Jacq. Walp) em Taperoá, Paraíba. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: GI - gliricídia incorporada, GS; - gliricídia em superfície 45 dias após o plantio; EI + GI - esterco e gliricídia incorporados; EI + GS - esterco incorporado seguido de gliricídia em superfície; EI - esterco incorporado e T - testemunha sem adubação orgânica. O esterco pré seco e a gliricídia fresca foram aplicados em doses de 20 Mg ha⁻¹ nos tratamentos com aplicações isoladas, e 10 Mg ha⁻¹ de esterco e 10 Mg ha⁻¹ de gliricídia, nos tratamentos com aplicações conjuntas. O tratamento EI + GS indicou entre os demais maior acúmulo de N, P e K no algodão (12, 1 e 7 kg ha⁻¹) e no girassol (20, 2 e 29 kg ha⁻¹) no ano 2010. Em 2011, a aplicação de gliricídia incorporada (GI) e em superfície (GS) comparada as demais formas, promoveu maiores acúmulos de N, P e K nas duas culturas. A aplicação de gliricídia em superfície 45 dias após plantio e esterco incorporado antes do plantio em 2010, indicou maior produtividade do algodão, 198 kg ha⁻¹, enquanto que a aplicação de gliricídia em superfície (GS) em 2011 demonstrou maior incremento em produtividade 594 kg ha⁻¹. O uso de esterco incorporado e gliricídia em superfície (EI + GS), em 2010, com 466 kg ha⁻¹ e gliricídia incorporada (GI) em 2011, com 3542 kg ha⁻¹ indicaram ser os sistemas mais promissores na produtividade do girassol. A gliricídia incorporada ao solo isolada ou em superfície combinada com esterco aumentou a produtividade de biomassa total do algodão e girassol. O índice de colheita no girassol foi maior no tratamento com gliricídia incorporada em 2010 e no algodão esterco e gliricídia incorporados em 2011. Considerando as estratégias de adubação e a disponibilidade dos adubos ao longo do ano, o esterco incorporado + gliricídia em superfície EI + GS é o manejo mais viável.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L., *Gossipium hirsutum* L., adubos, nutrientes, produtividade.

NUTRIENT ACCUMULATION AND PRODUCTIVITY OF BIOMASS BY OILSEEDS INTERCROPPED WITH MANURE AND GLIRICIDIA FERTILIZERS

ABSTRACT – Organic fertilizers can be a viable alternative to for increasing the productivity of oilseed in semiarid northeastern Brazil. In experiments carried out in Taperoá, Paraíba, we evaluated nutrient concentrations, harvest index, and total biomass productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and cotton (*Gossipium hirsutum* L.) following fertilization with bovine and/or foliage of gliricidia (*Gliricidia sepium* Jacq. Walp). The experiments were set up in a randomized block with six treatments and four replications. The treatments were: GI – gliricidia incorporated into the soil before planting; GS – gliricidia applied on the surface 45 days after planting; EI – manure incorporated into the soil before planting; EI + GI – both manure and gliricidia incorporated before planting; EI + GS – manure incorporated before planting followed by gliricidia applied on the surface; and T - control (no organic fertilization). For the treatments using one of the fertilizers alone, pre-dried manure or fresh gliricidia was applied at a rate of 20 Mg ha⁻¹. For the treatments using a combination of the two fertilizers, the application rate was 10 Mg ha⁻¹ of manure and 10 Mg ha⁻¹ of gliricidia. In 2010, treatment (EI + GS increased the accumulation of N, P, and K in cotton (12, 1, and 7 kg ha⁻¹) respectively) as well as in sunflower (20, 2, and 29 kg ha⁻¹). In 2011, treatments GI and GS resulted in higher accumulations of N, P, and K in both sunflower and cotton. The highest cotton productivity in 2010 was seen with the EI + GS treatment (198 kg ha⁻¹) and in 2011 with the GS treatment (594 kg ha⁻¹). For sunflower, the EI + GS treatment brought the highest yield in 2010 (466 kg ha⁻¹) and the GI treatment the highest in 2011 (3542 kg ha⁻¹). Both the GI and the EI + GS treatments increased total biomass productivity for cotton and for sunflower. The sunflower crop treated with GI had the highest harvest index in 2010, and the cotton crop treated with EI + GI had the highest harvest index in 2011. Considering fertilizer availability throughout the year, we conclude that the EI + GS treatment is the most viable management strategy for sunflower and cotton.

Keywords: *Helianthus annuus* L., *Gossipium hirsutum* L., fertilizers, nutrients, productivity

INTRODUÇÃO

Os solos da região Nordeste do Brasil, no geral apresentam nível de fertilidade médio, com adequadas reservas de potássio, cálcio e magnésio, porém são deficientes em matéria orgânica (MO), nitrogênio e fósforo (MENEZES e SALCEDO, 2007). Em sistemas agrícolas onde não são aplicados adubos, como na agricultura de subsistência da região semiárida do Nordeste brasileiro, a matéria orgânica do solo é a principal fonte de nutrientes (TIESEN et al., 2001). A utilização de esterco ou restos culturais é a prática de adubação mais utilizada na região semiárida (SEVERINO et al., 2006), porém há poucos estudos sobre o manejo dessa prática. A aplicação de ramas verdes pode suprir o nitrogênio necessário às plantas e pode promover sua rápida decomposição quando aplicado conjuntamente com esterco (MENEZES e SALCEDO, 2007).

A utilização de ramas de *Gliricidia sepium* Jacq. Walp tem sido recomendada na região (BARRETO e FERNANDES, 2001). A gliricídia é uma leguminosa com a alta capacidade em produzir forragem e adubo verde de rápida decomposição (HANDAYANTO et al., 1994; MARIN et al., 2006). Dependendo da aplicação, esta decomposição, pode ser tão rápida que o N é liberado antes do momento de maior necessidade da cultura e pode ser perdido principalmente por lixiviação em anos em que ocorre maior precipitação.

O sucesso da aplicação de gliricidia e de outros adubos orgânicos depende de se conseguir conciliar a liberação dos nutrientes com a demanda das culturas, ao longo dos seus ciclos de crescimento. A adubação com esterco antes dos plantios seguidos da aplicação de ramas de gliricídia, próximo à floração das culturas é uma estratégia que aproveita o esterco curtido produzido durante o período de estiagem e as ramas produzidas durante as primeiras semanas do período chuvoso. Além disso, A quantidade de nutrientes acumulada na parte aérea das plantas é um dado importante para o manejo de adubação orgânica. Porém, são poucas as informações sobre nutrição mineral no Brasil de culturas, principalmente girassol e algodão em estudos conduzidos em campo (ZOBIOLE et al., 2010).

Na região semiárida do Brasil, é crescente a atenção da pesquisa com agrossistemas consorciados, por proporcionar a diminuição dos custos de produção para o produtor e, até mesmo, a maior eficiência no uso de mão-de-obra em diferentes épocas do ano. Assim, é importante avaliar a viabilidade de sistemas de consorciação de culturas sob adubação orgânica, de modo a buscar maiores informações. Com essa perspectiva, o presente estudo

teve como objetivo avaliar quais os efeitos da aplicação de esterco e/ou gliricídia sobre a produtividade do algodão e do girassol em sistema de consórcio na região semiárida da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de fevereiro a julho de 2010 e 2011 na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, Paraíba, localizado nas coordenadas 07°12'10,8" S e 036°49'42,6" W e declividade de 2% com altitude em torno de 520 m em relação ao nível do mar. A temperatura média anual é de 26°C e a precipitação média anual é de aproximadamente 500 mm, distribuídas normalmente entre fevereiro e junho. A precipitação diária foi medida durante o período experimental (Figura 1).

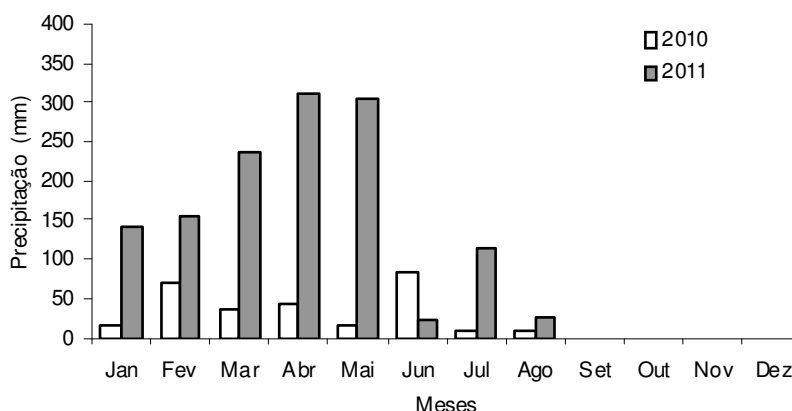


Figura 1. Precipitação total mensal nos anos 2010 e 2011 do município de Taperoá, PB.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico eutrófico, com textura média (EMBRAPA, 2006) e suas características físico-químicas antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), foram determinadas de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). O girassol (*Helianthus annuus* L.) utilizado foi a cultivar crioula da Embrapa e o algodão (*Gossipium hirsutum* L.) cultivar BRS verde também da EMBRAPA.

Foram avaliados os consórcios de algodão herbáceo e girassol utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições: GI - gliricídia incorporada ao solo antes do plantio; GS - gliricídia aplicada em superfície 45 dias após o plantio; EI + GI - esterco + gliricídia, incorporados antes do plantio; EI + GS - esterco incorporado ao solo antes do plantio e gliricídia em superfície,

45 dias após plantio; EI - esterco incorporado ao solo antes do plantio; e T - tratamento testemunha sem adição de adubo.

Tabela 1. Composição físico-química do Neossolo Flúvico antes da aplicação dos adubos e plantio do girassol e do algodão.

CARACTERÍSTICAS	NEOSSOLO FLÚVICO
pH (H ₂ O)	6,74
P extraível (mg kg ⁻¹)	299
K extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,25
Ca extraível (cmol _c kg ⁻¹)	3,95
Mg extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,62
Na extraível (cmol _c kg ⁻¹)	0,10
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,00
Al + H (cmol _c kg ⁻¹)	1,32
SB (cmol _c kg ⁻¹)	4,92
CTC a pH 7,0 (cmol _c kg ⁻¹)	6,24
CTC efetiva (cmol _c kg ⁻¹)	5,02
V(%)	78,0
COT (g kg ⁻¹)	8,80
NT (g kg ⁻¹)	0,50
Areia (g kg ⁻¹)	532
Silte (g kg ⁻¹)	203
Argila (g kg ⁻¹)	265

Os adubos aplicados no solo antes do plantio foram dispostos na superfície do solo e incorporados manualmente com o auxílio de enxada. É importante destacar que este manejo de adubação foi aplicado por seis anos consecutivos, quatro anos com cultivos de feijão e ou milho (2006 a 2009) e dois anos com plantio de girassol e algodão (2010 e 2011) logo após as primeiras chuvas, geralmente entre os meses de fevereiro e março.

Os adubos orgânicos utilizados nos tratamentos foram esterco bovino e gliricídia. O esterco foi coletado nas propriedades rurais dessa microrregião e armazenado por um período de seis meses, enquanto que os ramos de gliricídia (folhas e galhos finos com no máximo 1 cm de diâmetro) foram adquiridos nas proximidades da área experimental. A aplicação da gliricídia foi feita no mesmo dia em que foi coletada, sendo os ramos finos cortados com facão em pedaços com tamanhos entre 5 e 10 cm aproximadamente. As características químicas desses adubos (Tabela 2) foram determinadas de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

Tabela 2. Caracterização química dos adubos utilizados no experimento.

Materiais	PF*	Lig	COT	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	%								
Gliricídia	2,1	13,1	385	31,0	5,4	21,0	21,0	4,5	12,4
Esterco	-	18,6	125	12,0	5,5	27,0	27,0	6,2	10,4

*PF = Polifenóis; Lig = Lignina; COT = Carbono total; N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio (PRIMO et al., 2011).

A lignina foi determinada pelo método da fibra em detergente ácido (VAN SOEST, 1963). Os polifenóis solúveis totais foram determinados segundo Anderson e Ingram (1993). O teor de carbono foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (SNYDER e TROFYMOW, 1984), o de nitrogênio pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982), o de fósforo total por digestão sulfúrica e colorimetria, o de potássio total por digestão sulfúrica e fotometria de chama e o de cálcio e magnésio por absorção atômica (EMBRAPA, 1997).

O esterco curtido pré seco com teor de cinzas equivalente a 80% e a biomassa de gliricídia fresca foram aplicados em doses de 20 Mg ha⁻¹ nos tratamentos com aplicações isoladas, e 10 Mg ha⁻¹ de esterco e 10 Mg ha⁻¹ de gliricídia nos tratamentos com aplicações combinadas. A dose de 20 Mg ha⁻¹ de gliricídia corresponde a 4,6 de matéria seca e 142,6; 24,8 e 96,6 kg ha⁻¹ de N, P e K total. A dose de esterco corresponde a 14 Mg ha⁻¹ e 120, 55,0 e 270,0 kg ha⁻¹ de N, P e K. Utilizou-se esta dose de adubos por ser a mais adotada em adubação orgânica na região semiárida do Nordeste brasileiro.

As parcelas experime 30 m². O espaçamento de plantio no sistema de consórcio com girassol e algodão foi de 1 m entre covas e de 1 m entre linhas, alternando-se as culturas. Na semeadura foram colocadas oito sementes por cova e, posteriormente realizados desbastes, mantendo-se apenas quatro plântulas por cova, totalizando 20.000 plantas de algodão e 20.000 de girassol por ha⁻¹. Foram feitas três capinas ao longo de cada ciclo de cultivo.

A colheita do girassol foi feita aos 120 dias e a do algodão aos 150 dias após o plantio. Coletaram-se todas as plantas do girassol uma planta por cova, separando-se palhada e sementes e de algodão separando-se para a determinação da produtividade total palhada, pluma e semente. As palhadas de 15 plantas de girassol e de algodão de cada parcela experimental foram picadas em forrageira. Subamostras das palhadas e das sementes foram secas em estufa de ventilação forçada a 65° C e moídas em moinho Wiley.

Alíquotas de 0,25g dessas subamostras foram digeridas com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (THOMAS et al., 1967) e as concentrações de N foram determinadas pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982), as de fósforo total por colorimetria e a de K total por fotometria de chama (EMBRAPA, 1997).

A biomassa total incluem a biomassa seca da palhada, grãos e pluma com 12% de umidade e foi determinada em kg ha^{-1} , multiplicando-se um hectare pela produtividade obtida e dividida pela área em metros quadrados da parcela. Avaliaram-se juntamente o acúmulo de nutrientes (kg ha^{-1} de N, P e K) na palhada e nos grãos das culturas (concentração do nutriente * biomassa total produzida/1000), e o índice de colheita (razão entre a massa seca dos grãos e massa seca total da parte aérea * 100).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de média Tukey a 5% de significância usando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003). Os dados dos dois anos foram analisados separadamente. Os tratamentos e ciclos (anos) foram comparados para cada cultura por não serem os ciclos casualizados, com análise de variância com medidas repetidas no tempo para os ciclos (SAS, Institute 2001), aplicando-se o teste de esfericidade de Mauchly (1940). A análise de medidas repetidas no tempo foi utilizada, pois o teste de esfericidade foi significativo ($P < 0,01$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da palhada do girassol no primeiro ano (2010) diferiu entre os sistemas de adubação e foi maior nos tratamentos GI, EI + GI e EI + GS (Tabela 3). A produtividade de grãos foi maior com GI. No segundo ano (2011), a maior produtividade da palhada ocorreu no tratamento GI e a de grãos com GI, EI e EI + GS. São tratamentos exceto EI, com aplicação de gliricídia tanto incorporadas a solo quanto em superfície. As produtividades de palhada foram dez vezes maiores no segundo ano (1080 a 3166 kg ha^{-1}) que no primeiro (227 a 358 kg ha^{-1}) enquanto as de grãos aumentaram cerca de três vezes (68 a 123 kg ha^{-1} para 235 a 376 kg ha^{-1}).

As produtividades de grãos foram baixas comparadas com as médias para a região Nordeste do Brasil que é de 1.500 kg ha^{-1} . No entanto, é preciso considerar que a densidade de plantas no sistema de consórcio utilizado no presente estudo foi de 20.000 mil plantas por ha^{-1} bem menos que a usual que é de 80.000 plantas por ha^{-1} . As baixas produtividades no primeiro ano são explicadas pelo baixo índice pluviométrico apenas 240

mm e irregular durante o ciclo da cultura (Figura 1), principalmente no mês da floração (maio), quando choveu apenas 28 mm e em um único dia. Por outro lado, a alta produtividade no segundo ano comparada ao primeiro, ocorreu devida ao maior índice pluviométrico acima da média para a região e distribuição regular.

Tabela 3. Produção de biomassa da palhada, de grãos e total (palhada e grãos) e índice de colheita do girassol em dois anos consecutivos após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico em Tapera, Pariba.

Adubos	Palhada		Grãos		Produção total		IC	
	kg MS ha ⁻¹						%	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
GI	328 aB ¹	3166 aA	123 aB	376 aB	451 aB	3542 aA	31 aA	11 bB
GS	262 bB	2544 bA	98 bB	303 bA	360 bB	2847 bA	27 bA	11 bB
EI+GI	318 aB	1717 dA	104 bB	257 bA	423 bB	1974 cA	25 bA	13 bB
EI+GS	358 aB	2285 cA	107 bB	324 aA	466 aB	2609 bA	23 bA	13 bB
EI	282 bB	2365 cA	100 bB	370 aA	382 bB	2735 bA	28 bA	13 bA
T	227 cB	1080 eA	68 cB	235 cA	295 cB	1323 dA	23 cA	18 aA
CV (%)	39,47	26,86	41,87	23,70	33,77	22,48	40,65	36,75

GI - gliricídia incorporada ao solo antes do plantio; GS - gliricídia em superfície 45 dias após plantio; EI + GI - esterco+gliricídia, incorporados antes do plantio; EI + GS - esterco incorporado antes do plantio e gliricídia em superfície, 45 dias após o plantio; EI - esterco incorporado antes do plantio e T tratamento sem adição de adubo. Letras minúsculas na coluna comparam os tratamentos e letras maiúsculas na linha comparam os anos. ¹Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante considerar que as aplicações do esterco e da gliricidia foram feitas durante seis anos consecutivos (2006 a 2011), criando possivelmente efeito residual e consequentemente maior liberação dos nutrientes ao longo do tempo. A ausência de chuva é o fator que mais interfere na fase de formação do tamanho dos capítulos (AGUIRREZÁBAL, 2001). Além disso, a baixa umidade do solo pode limitar mineralização dos nutrientes especialmente do N do esterco (MENEZES e SALCEDO, 2007).

As produtividades de grãos de girassol (ente 235 a 376 kg ha⁻¹) obtidas no presente estudo em 2011 com maior índice de chuva e considerando a densidade utilizada foi semelhantes as encontradas por Ribeiro (1998), no Nordeste brasileiro em sistema não consorciados que foi de 1.500 kg ha⁻¹ e por Freire et al. (2007), na região do Agreste e Mata no estado da Paraíba, variando entre 1.000 e 1.500 kg ha⁻¹.

A produção de biomassa total (palhada e grãos) no girassol no primeiro ano variou entre os tratamentos de 295 a 466 kg ha⁻¹ e no segundo ano de 1323 a 3542 kg ha⁻¹ e foi maior nos tratamentos GI e EI + GS no primeiro ano e no segundo no tratamento GI (Tabela 3). A produtividade total em 2011 foi maior comparada à obtida por Jesus (2011)

em estudos realizados com girassol no semiárido paraibano adubado com esterco bovino e gliricídia que foi em torno de 7.850 kg ha^{-1} , porém, utilizando três vezes mais a densidade de plantas de girassol em sistema não consorciado e aos encontrados nos estudos realizados pela EMBRAPA Soja e a Universidade Federal de Minas Gerais com treze cultivares de girassol plantados no período de safrinha, obtendo-se produções médias entre 3600 kg ha^{-1} a 7700 kg ha^{-1} (TOMICICH et al., 2003).

Ao considerar-se a densidade de plantas utilizadas no presente estudo (três vezes menos) com a usual, observou-se que a produtividade total obtida em 2011 apresentou valores acima da média para a região Nordeste do Brasil que se situa aproximadamente entre 4000 e 6000 kg ha^{-1} em sistemas não consorciados (TOMICICH et al., 2004). Isso é explicado devido ao maior índice de chuva que elevou o porte das plantas atingindo em média cerca de dois metros de altura, favorecendo o crescimento vegetativo e conseqüentemente maior biomassa.

As maiores produtividades de biomassa total com aplicação de gliricídia podem estar associadas à alta concentração de N da gliricídia e sua rápida mineralização de N (GIACOMINI et al., 2007). A disponibilização de N na fase do crescimento rápido do girassol é de fundamental importância, pois o momento em que ocorre a maior taxa de extração de nutrientes do girassol é a fase logo após a formação do botão floral até o final do florescimento (CASTRO et al., 1997). A aplicação de grande quantidade de N no período inicial de desenvolvimento não é recomendada, pois pode provocar crescimento acentuado da parte aérea com grande produção de palhada e pouca de grãos (LARCHER, 2000).

O índice de colheita do girassol (Tabela 3) demonstrou diferença significativa entre os modos de adubação e entre os anos de cultivos. Entre os anos, foi muito maior em 2011. Entre os sistemas, o tratamento GI em 2010 e o T em 2011, foram os mais proeminentes, porém com valores bem diferentes 31 e 18%. O índice de colheita do girassol normalmente varia entre 25 e 35% (CASTRO e FARIAS 2005).

A produtividade da palhada do algodão no primeiro ano foi maior no tratamento EI + GS e no segundo ano, nos tratamentos GI, EI + GS e EI (Tabela 4). Já a produtividade dos caroços, no primeiro ano, foi maior nos tratamentos EI + GI e EI + GS e, no segundo ano maiores nos tratamentos GS e EI + GI. Para a produtividade de pluma, os tratamentos GI, EI + GI e EI + GS foram maiores no primeiro ano e, no segundo ano, os tratamentos GS, GI e EI.

Tabela 4. Produtividade de palhada, de caroço, de pluma, total e índice de colheita do algodão em dois anos consecutivos após diferentes modos de aplicação dos adubos orgânicos em um Neossolo Flúvico.

Adubos	⁽¹⁾ Prod. Palhada		Prod. Caroço		Prod. Pluma		Prod. Total		I.C caroço		I.C pluma	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
GI	72 cB ²	270 aA	32 bB	161 bA	22 aB	101 bA	122 bB	533 bA	26 aB	30 bA	17aA	18aA
GS	93 bB	236 bA	19 cB	220 aA	13 cB	137 aA	126 cB	594 aA	16 cB	36 aA	11cB	23aA
EI+GI	101 bB	228 bA	45 aB	212 aA	20 aB	122 aA	166 bB	562 aA	28 aB	37 aA	13bB	21aA
EI+GS	139 aB	254 aA	38 aB	164 bA	21 aB	101 bA	198 aB	519 bA	19 bB	32 bA	11cB	19aA
EI	65 cB	281 aA	14 dB	165 bA	10 dB	92 bA	88 dB	538 bA	15 cB	31 bA	11cB	17aA
T	96 bB	242 bA	21 cB	162 bA	16 bB	83 bA	132 cB	487 bA	16 cB	34 bA	12bB	18aA
CV (%)	29,05	28,24	6,61	28,57	2,07	28,62	19,55	22,05	21,77	19,24	19,01	18,36

⁽¹⁾Prod. = produção; I.C = índice de colheita. GI - gliricídia incorporada ao solo antes do plantio; GS - gliricídia em superfície 45 dias após o plantio; EI + GI – esterco + gliricídia, incorporados antes do plantio; EI + GS - esterco incorporado antes do plantio e gliricídia em superfície 45 dias após o plantio; EI - esterco incorporado antes do plantio e T tratamento sem adição de adubo. Letras minúsculas na coluna comparam os tratamentos e letras maiúsculas na linha comparam os anos. ²Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estudo realizado por Garrido (2009) no semiárido paraibano com algodão herbáceo consorciado e adubação orgânica foi encontrado produtividade média de caroço na faixa de 639 kg ha⁻¹. Produtividade maior comparada à encontrada no presente estudo, que foi de 180 kg ha⁻¹. Porém é importante resaltar que a densidade de plantas utilizadas no presente estudo foi duas vezes menor que a utilizado por Garrido (2009).

As maiores produtividades de biomassa total de algodão (palhada, caroço e pluma) obtidas no presente estudo foi entre 562 e 594 kg ha⁻¹ (Tabela 4). Produtividades entre 400 e 1600 kg ha⁻¹ foram obtidas por Silva et al. (2005) com aplicação de esterco bovino ao solo região do Seridó na Paraíba em cultivo solteiro e, em sistema de consórcio por Garrido (2009), entre 2487 e 3906 Kg ha⁻¹ utilizando esterco bovino e gliricídia, porém com densidade de plantas duas vezes maior que a aplicada no presente estudo.

Os sistemas de adubação GI e EI + GI no primeiro ano e, EI + GI e GS no segundo ano, tiveram índices de colheita superiores aos demais. No primeiro ano, foram **entre 15 e 28%, similares aos 14 e 26% encontrados por Garrido (2009),** em sistema de cultivo consorciado com algodão, milho e feijão no semiárido paraibano. No segundo ano, os índices de colheita não seguiram as mesmas porcentagens do primeiro ano, foram mais elevados entre 30 e 37 %. Evidentemente, decorrente do aumento da produtividade.

Embora o algodão possua crescimento secundário em relação ao girassol, não se observou aparentemente restrições no seu desenvolvimento no sistema de consórcio com o girassol nas condições em que foi desenvolvido o estudo, sugerindo a viabilidade dos sistemas de manejo adotados e o consórcio entre as duas culturas.

Os acúmulos de nutrientes tanto no algodão quanto no girassol diferiram entre os sistemas de adubação e entre os anos (Tabela 5). O maior acúmulo de N tanto no algodão quanto no girassol, no primeiro ano, foi obtido com o esterco incorporado antes do plantio e as ramas de gliricídia em superfície 45 dias após o plantio (EI + GS). Esta combinação dos dois adubos é considerada o manejo, mais adequado pela possibilidade de aplicar o esterco acumulado no curral na época seca e as ramas da gliricídia que brota após as primeiras chuvas.

Tabela 5. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em biomassa total de algodão e girassol em dois anos consecutivos sob diferentes sistemas de adubação orgânica.

Adbos	N		P		K	
kg ha ⁻¹						
	2010					
	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol	Algodão	Girassol
GI	2,9 bB ¹	7,2 bB	0,2 cB	0,7 bB	2,0 bB	18,3 aB
GS	2,5 bB	6,8 bB	0,2 dB	0,7 bB	2,3 bB	17,5 bB
EI+GI	3,7 aB	7,3 bB	0,3 bB	0,9 aB	2,7 bB	16,3 bB
EI+GS	3,9 aB	8,2 aB	0,4 aB	0,8 aB	3,4 aB	19,3 aB
EI	1,6 cB	7,0 bB	0,1 dB	0,8 bB	1,8 cB	12,8 cB
T	2,8 bB	4,7 cB	0,2 cB	0,5 cB	2,2 bB	12,4 cB
CV (%)	23,14	35,64	22,71	39,93	28,96	43,47
	2011					
GI	15,3 aA	70,5 aA	10,3 aA	12,6 aA	8,7 bA	104,6 aA
GS	17,6 aA	58,8 bA	11,6 aA	10,1 aA	9,7 aA	78,1 bA
EI+GI	17,6 aA	36,7 cA	10,3 aA	7,5 bA	7,5 bA	55,0 bA
EI+GS	15,5 aA	47,2 bA	11,4 aA	9,0 bA	7,6 bA	80,5 bA
EI	17,7 aA	52,4 bA	11,9 aA	8,9 bA	8,4 bA	85,8 bA
T	13,5 bA	23,5 dA	9,4 bA	4,5 cA	8,1 bA	36,1 cA
CV (%)	22,15	17,11	32,98	27,37	29,71	33,58

GI - gliricídia incorporada ao solo antes do plantio; GS - gliricídia aplicada em superfície 45 dias após o plantio; EI+GI – esterco + gliricídia, incorporados antes do plantio; EI+GS - esterco incorporado ao solo antes do plantio e gliricídia em superfície, 45 dias após plantio; EI - esterco incorporado ao solo antes do plantio e T tratamento sem adição de adubo. Letras minúsculas na coluna comparam os tratamentos e letras maiúsculas comparam os anos. ¹Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O período de maior demanda nutricional para o algodão herbáceo ocorre até aos 50 dias após a germinação (BELTRÃO e CARVALHO 2004) e para o girassol até aos 45 dias após germinação (TOMICICH et al., 2004). O menor acúmulo para o algodão no primeiro ano foi obtido com a aplicação incorporado do esterco ao solo (EI), que diferiu do tratamento testemunha (Tabela 5), obviamente devido à imobilização dos nutrientes no período de maior demanda pela planta. Silva e Menezes (2007) discutiram que a liberação do nitrogênio no esterco só ocorre algumas semanas após sua incorporação.

Os acúmulos de N no algodão no segundo ano não diferiram entre os sistemas de adubação, mas foram superiores à testemunha. No girassol o tratamento GI foi superior aos demais tratamentos (Tabela 5). Esse comportamento pode ser justificado, possivelmente, devido à alta concentração de nitrogênio na biomassa da gliricídia e quando incorporada de forma isolada ao solo aumentou a disponibilização desse nutriente para as plantas, coincidindo com o período de maior demanda nutricional. A utilização de ramas de gliricídia como adubo verde pode ser uma estratégia importante para os sistemas agrícolas da região semiárida por favorecer o aumento no aporte de nutrientes, principalmente de N por se tratar de uma leguminosa com alta eficiência de fixação biológica (SALTON et al., 2011).

O maior acúmulo de P para nas duas culturas, ocorreu no tratamento com o esterco incorporado e gliricídia em superfície 45 dias após o plantio (EI + GS), com aumento correspondente a 20% para o algodão e 56% para o girassol em relação ao tratamento testemunha. No segundo ano, não houve diferença significativa entre os tratamentos no algodão, enquanto no girassol, os tratamentos GI e GS foram superiores, incrementando a acumulação em 181% e 126,% em relação ao tratamento testemunha (Tabela 5).

O maior acúmulo de K encontrado na biomassa da parte aérea do algodão no primeiro ano ocorreu nos tratamentos EI + GS e EI + GI e, para o girassol nos tratamentos GI e EI + GS, os quais diferiram dos demais tratamentos. No segundo ano o tratamento GS, teve maior acúmulo de K para algodão e o GI para o girassol (Tabela 5). Contudo, os maiores acúmulos de P e K no primeiro ano ocorreram nos sistemas de adubação onde se adicionou o esterco. Assim, o presente estudo demonstrou que diferentes manejos de adubação orgânica podem influenciar no desenvolvimento das plantas, favorecendo maior produtividade e acúmulo de nutrientes.

CONCLUSÕES

O uso de ramas de gliricídia como adubo verde é uma prática de adubação capaz de aumentar a produtividade de culturas agrícolas na região semiárida devido a sua rápida decomposição e maior fornecimento de nitrogênio comparada com o esterco bovino.

Considerando as estratégias de adubação e a disponibilidade dos adubos ao longo do ano, o manejo com esterco incorporado antes do plantio e gliricídia em superfície 45 dias após o plantio, é o mais viável para os sistemas de cultivos na agricultura familiar no semiárido do Nordeste brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) MCT/CNPq/CT-Agronegócio Nº 43/2008, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo IBPG-1662-5.01/08, pelo apoio financeiro à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.M.; Ingram, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Second edition. CAB International. 1993. 221p.

AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; ORIOLI, G.A.; HERNÁNDEZ, L.F.; PEREYRA, V.R.; MIRAVÉ, J.P. El rendimiento y sus componentes. In: Girassol - Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. INTA, Buenos Aires, Argentina, p.10-15, 2001.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.10, p.1287-1293, 2001.

BELTRÃO, N.E.M; CARVALHO, L.P. Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2004. 17p il. (Embrapa Algodão. Documentos, 128).

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA, v.2, cap.31, p.595-624, 1982.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In: CAMPOS LEITE, R.V. Girassol no Brasil. Londrina: CNPSo, p.163-218, 2005.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R., BALLA, A.; LEITE, R.M.V.B. C.; MELO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, J.R. A cultura do girassol. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997, 36p. (Circular Técnica, 13).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Embrapa solos, Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1997. 370p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

FREIRE, A.L.; MENINO, I.B.; BELARMINO FILHO, J.; NETO, M.B. Sistema de produção do girassol para as mesorregiões do Agreste Paraibano e da Mata Paraibana. João Pessoa: EMEPA, 17 p, 2007.

GARRIDO, M.S. Adubação com gliricídia e esterco em culturas do semiárido nordestino. Recife: UFPE-PROTEN, 2009. 80p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

GIACOMINI, S.J.; RECOUS, S.; MARY, B.; AITA, C. Simulating the effect of N availability, straw particle size and location in soil on C and N mineralization. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.301, n.1-2, p.289-301. 2007.

HANDAYANTO, E.; CADISH, G.; GILLER, K.E. Nitrogen release from prunings of legume trees in relation to quality of the prunings and incubation method. *Plant Soil*, v.160, n.2, p.237-248, 1994.

JESUS, K.N. Produção de girassol em um Neossolo Flúvico sob adubação orgânica no semiárido paraibano. Recife: UFPE-PROTEN, 2012. 82p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares).

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n. 3, p.555-564, 2006.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.4, p.361-367, 2007.

MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.12, n.3, p.251-257, 2008.

MUNDUS, S.; MENEZES, R.S.C.; NEERGAARD, A.; GARRIDO, M. S. Maize growth and soil nitrogen availability after fertilization with cattle manure and/or gliricidia in semi-arid NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.1, p.61-73, 2008.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v.7, n.5 p.1-13, 2011.

RIBEIRO, J.L. A cultura do girassol na região Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998. 24p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 27).

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.46, n.10 p.1349-1356, 2011.

SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, crotalaria juncea. II- Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa ,v.31, n.1, p.51-61, 2007.

SILVA, M.N.B.; BELTRÃO, N.E.M.; CARDOSO, G.D. Adubação do algodoeiro colorido BRS 200 em sistema orgânico no Seridó paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.222-228, 2005.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A. GODIN, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R. BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília, v.14, n.5, p.879-882, 2006.

SNYDER, J.D.; TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil sample. Comm. Soil Science Plant Analysis. v.15, n.5, p.587-597, 1984.

TIESSSEN, H., SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems. v.61, n.1-2, p.99-103, 2001.

THOMAS, R.L.; SHEARD, R.W.; MOYER, J.R. Comparision of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. Agronomy Journal, Madison, v.59, n.3, p.240-243, 1967.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Journal Association of Official Agricultural Chemists v.46, p.829-835, 1963.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; JUNIOR, A.O. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.34, n.2, p.425-433, 2010.

CAPÍTULO 5

ESTABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM NEOSSOLO FLÚVICO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO E GLIRICÍDIA

ESTABILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM NEOSSOLO FLÚVICO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO E OU GLIRICÍDIA

RESUMO - A fração estável da matéria orgânica do solo (MOS) tem recebido atenção principalmente na última década, devido à preocupação em manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. As principais características estruturais e o grau de humificação da MO de um Neossolo Flúvico, após seis anos de manejos de adubação orgânica e cultivo com culturas anuais na região semiárida do estado da Paraíba foram avaliadas. Os manejos consistiram em: gliricídia incorporada ao solo (GI); gliricídia em superfície 45 dias após plantio (GS); esterco e gliricídia incorporados antes do plantio (EI + GI); esterco incorporado e gliricídia em superfície aos 45 dias após plantio (EI + GS); esterco incorporado (EI) e testemunha sem aplicação de adubação orgânica (T). Foram realizadas avaliações utilizando-se técnicas espectroscópicas em amostras inteiras de solo (camada 0 - 20 cm) e extratos de ácido fúlvico e em ácido húmico extraído do solo. O tratamento com gliricídia em superfície apresentou o maior percentual de carbono orgânico total. Observou-se pela espectroscopia de fluorescência induzida por laser, em amostra de solo inteiro, que a forma de manejo de adubação orgânica com esterco bovino incorporado e gliricídia em superfície (EI + GS) contribuíram para o aumento do índice de humificação, enquanto que, para a fração ácido húmico, o maior índice de humificação observado por fluorescência ocorreu para o manejo gliricídia em superfície (GS). Os espectros de ácido fúlvico de UV/Vis foram mais pronunciados em 235 nm indicando presença de MOS solúvel onde foi adicionada biomassa fresca ao solo. Os espectros obtidos na região do infravermelho médio não apresentaram diferenças quanto à estrutura química dos ácidos húmicos. Pelas espectroscopias de ressonância paramagnética eletrônica, e ressonância magnética nuclear os tratamentos com adubo verde rico em N e de alta labilidade (GI, EI + GS) indicaram maior aromaticidade do ácido húmico. Observou-se que a biomassa de gliricídia aplicada ao solo incorporada e em superfície diminui as frações lábeis da MOS devido à aceleração da decomposição.

Palavras-chave: adubação, análises espectroscópicas, carbono, humificação

STABILITY OF SOIL ORGANIC MATTER IN A FLUVIC ENTISOL FERTILIZED WITH CATTLE MANURE AND/OR GLIRICIDIA

ABSTRACT - The stable fraction of soil organic matter (SOM) has received attention mainly in the last decade, because of concerns about maintaining the sustainability of agricultural systems. We studied Fluvic Entisols in the semiarid region of Paraíba state, evaluating the main structural characteristics and the humification of SOM humification, after five years of cultivation of annual crops with different organic fertilizer treatments. Treatments used were: gliricidia incorporated into the soil before planting (GI); manure incorporated into the soil before planting (EI); gliricidia applied to the surface 45 days after planting (GS); manure and gliricidia incorporated into the soil before planting (EI + GI); manure incorporated before planting and gliricidia applied to the surface 45 days after planting (EI + GS); and control no organic fertilization (T). We used spectroscopic techniques to analyze samples of whole soil (from the 0- to 20-cm depth) in fulvic acid and humic acids extracted from the soil. The soils treated with gliricidia as a surface application showed the highest percentage of total organic carbon. The laser induced fluorescence spectroscopy results revealed that the soils receiving the EI + GS treatment had an increased humification index, while that for the humic acids, the fraction highest rate of humification observed by fluorescence occurred for the management GS. The UV/Vis spectra for fulvic acid were more pronounced at 235 nm, indicating the presence of soluble organic matter where fresh biomass was added to the soil. The spectra obtained in the mid infrared region did not show differences in the chemical structure of humic acids. The Electronic resonance paramagnetic and nuclear magnetic resonance showed that green fertilizer, rich in nitrogen and having high lability (the GI and EI + GS treatments) produced a higher aromaticity of humic acids. We found that gliricidia, whether incorporated into the soil before planting or applied to the surface after planting, decreases the labile fractions of SOM by accelerating decomposition.

Keywords: fertilization, spectroscopy analyses, carbon, humification

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) tem recebido atenção considerável, particularmente nos últimos anos, devido à grande importância nos processos químicos, físicos e biológicos no sistema solo-planta. A fração pesada geralmente compreende aproximadamente 80% do carbono orgânico total (COT) e inclui as frações estáveis denominadas de substâncias húmicas (SILVA e MENDONÇA, 2007). As substâncias húmicas (SHs) são compostas pelas frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU), determinadas com base na solubilidade em meio ácido ou alcalino (MARTIN-NETO et al, 2004). Estas frações representam suportes físico-químicos importantes para a manutenção da microbiota do solo, retenção de nutrientes minerais e sua liberação gradativa às plantas (ARANGO e GONZÁLES, 1999), aumento da porosidade e redução da densidade do solo, permitindo melhor uso agrícola.

A habilidade da MOS em aumentar a capacidade produtiva dos solos, em particular em solos tropicais, tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas visando melhor entendimento da sua dinâmica no solo (PRIMO et al., 2011) e mais especificamente de suas frações estáveis. É constituída pelos elementos C, H, O, N, P e S e sua estabilidade depende do manejo do solo adotado. Estudos sobre as frações da MOS no Nordeste do Brasil, principalmente na região semiárida, são escassos. Cunha et al. (2001), estudando solos da região de Irecê na Bahia, demonstraram sensibilidade das SHs às perturbações causadas pelos diferentes sistemas de uso da terra.

A avaliação da qualidade da MOS, usando como parâmetro o grau de humificação, pode ser determinada por meio de diversas formas de espectroscopias: absorção na região do ultravioleta e do visível (UV-Vis), absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), fluorescência na região do ultravioleta e do visível, fluorescência induzida por Laser (FIL), ressonância magnética nuclear (RMN) e ressonância paramagnética eletrônica (RPE) (MARTIN-NETO et al., 2009).

As técnicas espectroscópicas são ferramentas importantes no entendimento de várias e complexas reações no solo. A espectroscopia ultravioleta-visível é de fácil manuseio, rápida e de baixo custo, porém com poucas bandas de absorção. Através dessa técnica pode-se avaliar o grau de humificação dos ácidos fúlvicos e húmicos da MOS. No infravermelho os espectros fornecem maior quantidade de bandas e mais definidas. Porém a interpretação exata dos espectros nem sempre é possível devida encontrarem-se em

faixas maiores para os AH em relação aos AF (ABREU JUNIOR, et al., 2009). A espectroscopia de fluorescência, diferencia rapidamente frações humificadas em amostras de solo, devido o comprimento de ondas dos espectros de emissão e excitação encontrar-se em faixas maiores que os ácidos fúlvicos e húmicos. As análises podem ser feitas diretamente na amostra, sem necessidade do processo de extração e purificação. É uma das técnicas mais sensível, de fácil implementação e, não destrutiva, bastante útil para aplicações ambientais (ABREU JUNIOR, et al., 2009).

A ressonância magnética nuclear é uma técnica complexa e bastante demorada e tem sido utilizada em diferentes solos e diferentes sistemas de manejo. Apesar de ser uma técnica de caracterização estrutural relativamente recente, constitui poderosa ferramenta para estudar a MOS, por fornecer informação estrutural das características conformacionais dos núcleos de C e sua dinâmica com alguns fatores ambientais, assim como dos seus processos de transformações e decomposição, porém só pode ser aplicada a amostras sólidas. A técnica de RPE é uma das únicas capazes de fornecer informações estruturais, sem artefatos ou condições experimentais restritivas, sobre a complexação de íons metálicos (KNICKER et al., 2000) .

Dada a importância da adubação orgânica nos sistemas agrícolas na região semiárida do Nordeste brasileiro, os estudos relacionados a este atributo são escassos, mais especificamente em estudo de longa duração. Nesse, sentido as aplicações de técnicas isotópicas e espectroscópicas nos estudos da matéria orgânica do solo também são quase inexistentes nessa região. Várias das técnicas espectroscópicas utilizadas atualmente nos estudos das frações estáveis da matéria orgânica são de pouca acessibilidade, por serem complexas e os equipamentos necessários são de alto custo de aquisição e manutenção, o que pode estar limitando o desenvolvimento de pesquisas dessa natureza em algumas regiões do Brasil.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar as principais características estruturais, bem como o grau de humificação da MO de um Neossolo Flúvico com técnicas espectroscópicas, após cinco anos de adubação com gliricídia incorporada e em superfície do solo, com e sem combinação com esterco bovino incorporado, em cultivo de culturas anuais na região semiárida do estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição e histórico da área experimental

A área está localizada nas coordenadas 07°12'10,8" S e 036°49'42,6" W, com declividade em torno de 2%, e altitude em torno de 520 m. O solo da área foi classificado como Neossolo Flúvico eutrófico (EMBRAPA, 2006). A temperatura média é 26°C e a precipitação total anual média 558 mm, distribuída principalmente entre fevereiro a maio. A precipitação foi medida diariamente de 2006 a 2011 (Figura 1). Amostras de solo após aos 5 anos de cultivo para o presente estudo, foram coletadas em julho de 2011, na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, semiárido paraibano, após seis anos consecutivos de aplicação de gliricídia (*Gliricídia sepium* Jacq. Walp) e esterco bovino aplicados em superfície ou incorporados.

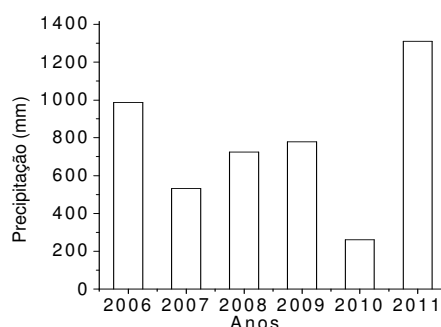


Figura 1. Precipitação anual de 2006 a 2011 no município de Taperoá, Paraíba

O local onde foi conduzido o experimento passou por vários sistemas de manejo e uso da terra, como queimada da floresta nativa e aplicação de diversos cultivos. Entre 1911 e 1979, foi plantada com algodão, milho e feijão. Em 1980, foi implantado um bosque de algaroba (*Prosopis juliflora*), em 2006 foi feito o corte do bosque e até 2011 conduzido experimento com culturas de ciclos curtos composto de seis tratamentos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições aplicados todo ano: GI - gliricídia incorporada ao solo antes do plantio da cultura anual; GS - gliricídia em superfície 45 dias após plantio da cultura anual; EI + GI - esterco e gliricídia incorporados antes do plantio da cultura anual; EI + GS - esterco incorporado antes do plantio e gliricídia em superfície 45 dias após o plantio da cultura anual; EI - esterco incorporado ao solo antes do plantio da cultura anual e T - sem adição de adubo orgânico, mas com revolvimento da camada dos 10 cm superficiais.

Os adubos incorporados foram aplicados manualmente com auxílio de enxada a uma profundidade de aproximadamente 10 cm e em superfície foram dispostos na superfície, espalhados por toda a parcela experimental com dimensões de 5 x 7 m, (35 m²) com 0,5 m de bordadura apenas na largura e área útil de 5 x 6 m, perfazendo 30 m² por parcela. No momento da aplicação do adubo verde, a biomassa de gliricídia (ramos e galhos finos com no máximo 1 cm de diâmetro) foi cortada com facão em pedaços com tamanhos entre 5 a 10 cm aproximadamente.

O esterco pré seco curtido e a biomassa da gliricídia foram aplicados em doses equivalentes a 20 Mg ha⁻¹ nos tratamentos com aplicações isoladas, e 10 Mg ha⁻¹ de esterco e 10 Mg ha⁻¹ de biomassa da gliricídia nos tratamentos com aplicações combinadas, sendo a dose de 20 Mg ha⁻¹ de matéria fresca e pré seca, equivalente aproximadamente a 4,6 e 14 Mg ha⁻¹ de matéria seca de gliricídia e de esterco respectivamente. Utilizou-se esta dose de adubos por ser a mais adotada em adubação orgânica na região semiárida do Nordeste brasileiro.

O esterco de curral com teor de cinzas equivalente a 80% foi coletado nas propriedades rurais dessa microrregião e armazenado por um período de seis meses, enquanto que a biomassa (ramos) de gliricídia foi adquirida nas proximidades da área experimental. A aplicação da gliricídia foi feita no mesmo dia em que foi coletada, sendo os ramos finos cortados com facão em pedaços com tamanhos entre 1 a 3 cm aproximadamente. Antes da aplicação dos adubos orgânicos ao solo foram coletadas subamostras para determinação das características químicas (Tabela 1).

O carbono foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (SNYDER e TROFYMOW, 1984). A concentração de polifenol solúvel foi determinada utilizando-se a metodologia descrita em Anderson e Ingram (1993), de lignina pelo método da fibra em detergente ácido (FDA), de acordo com Van Soest (1963). Para determinação de N, P e K total, o esterco e a gliricídia foram digeridos com uma mistura de ácido sulfúrico e água oxigenada (THOMAS et al., 1967). A concentração de nitrogênio total foi determinada pelo método de Kjeldahl (BREMNER e MULVANEY, 1982), a de fósforo total por digestão sulfúrica e colorimetria (MURPHY e RILEY, 1962), a de potássio total por fotometria de chama e as de cálcio e magnésio por absorção atômica, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Caracterização química dos adubos utilizados no experimento

Materias	PF*	Lig	COT	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	%				gkg ⁻¹				
	(base seca).....								
Glicíndia	2,1	13,1	385	31,0	5,4	21,0	21,0	4,5	12,4
Esterco	-	18,6	125	12,0	5,5	27,0	27,0	6,2	10,4

*PF = Polifenóis; Lig = Lignina; COT = Carbono total; NT = Nitrogênio total; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio. (PRIMO et al., 2011).

Em 2011, vinte dias após a colheita das culturas e, aproximadamente sete meses após a última aplicação dos adubos orgânicos, foram coletadas em cada parcela do experimento, oito amostras simples de solo com trado holandês, na profundidade de 0-20 cm e formaram-se amostras compostas, que foram secas à sombra e ao ar, tamisadas em peneiras de malha de 2 mm de abertura, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA). Após esse procedimento foram realizadas análises de carbono total por oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (SNYDER e TROFIMOW, 1984).

Análises espectroscópicas das amostras do solo inteiro

De posse das amostras do solo inteiro, avaliou-se o grau de humificação da MOS referentes aos seis tratamentos, por meio da Fluorescência Induzida por Laser (FIL). Para a realização das medidas de FIL, as amostras foram colocadas em porta-amostra e realizadas 16 medidas por tratamento, quatro medidas por unidade experimental e, feito o cálculo do grau de humificação (H_{FIL}) pela equação 1 (MILORI et al., 2006):

$$H_{FIL} = ACF/COT \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, ACF representa a área do espectro de emissão da fluorescência com excitação em 458 nm (ACF) e COT valor da concentração (%) de carbono orgânico total (COT) presente na amostra. Os espectros foram obtidos pelo instrumento portátil desenvolvido e instalado na Embrapa Instrumentação (MILORI et al., 2006).

Análises espectroscópicas do AH e do extrato do AF

Para a realização de medidas espectroscópicas do AH e do extrato do AF, 200 g de solo foram submetidas à extração das frações húmicas (AF e AH). Para o fracionamento químico destas frações, amostras compostas de solo dos seis tratamentos foram submetidas

ao processo de extração e purificação por diferença em solubilidade pela metodologia preconizada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas - IHSS adaptada por Swift (1996), conforme detalhado a seguir.

O processo de extração foi iniciado com a mistura de 200 g de solo em solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ em proporção de 1g de solo: 10 mL de solução e, agitou-se manualmente durante 1 hora. Após este tempo, deixou-se em repouso por aproximadamente 4 horas. Posteriormente foi realizada sifonação do sobrenadante (extrato I de AF) e adicionado ao precipitado, solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ na mesma proporção citada anteriormente e realizada agitação também manual por aproximadamente quatro horas ininterruptas. Após este período a solução ficou em repouso por 16 horas. Realizou-se novamente sifonação e o precipitado, referente à fração HU + minerais, foi separado. De posse do sobrenadante, referente às frações AF e AH, centrifugou-se, por 10 minutos a 10000 rpm.

Em seguida, adicionou-se ao sobrenadante 50 ml de HCl 6 mol L⁻¹ até atingir valor de pH entre 1-2 e agitou-se manualmente por dois minutos. Após esse procedimento, a solução ficou em repouso durante 12 horas. Em seguida separou-se por sifonação o sobrenadante (extrato II de AF), do precipitado referente ao AH e foi dialisado. A partir deste momento iniciou-se o processo de purificação do AH para a caracterização da MOS redissolvendo-se o precipitado em 70 ml de solução KOH 0,1 mol L⁻¹ e 1,045g de KCl em cada amostra, suficiente para completar a concentração de íons [K⁺] equivalente a 3 mol L⁻¹ e realizou-se a agitação em mesa agitadora por 3 horas aproximadamente.

Após procedimento anterior, a solução foi centrifugada (10000 rpm - 20 min) para a eliminação de impurezas e na sequência, a parte líquida correspondente ao AH, foi novamente reprecipitado, adicionando-se 10 ml de HCl 6,0 mol L⁻¹ e mantido em repouso por 16 horas. Após esse tempo, centrifugou-se a solução (10000 rpm - 10 min) e o sobrenadante foi então descartado. Adicionou-se ao precipitado (AH) 100 ml da solução (HCl 0,1 mol L⁻¹ + HF 0, 3 mol L⁻¹) em frasco plástico de centrífuga e agitou-se em mesa agitadora durante 22 horas aproximadamente.

Em seguida, a solução foi centrifugada (10000 rpm - 10 min) e o material precipitado colocado em membranas de diálise (Spectra/Por 6000-8000 Da), preparadas segundo Mc Phie (1971) e submetidas ao processo de diálise, o qual foi mantido durante aproximadamente 08 dias, realizando-se a troca da água do recipiente duas vezes por dia, até que a água da diálise apresentasse ausência de cloreto, por meio do teste com nitrato de prata. Finalmente, as amostras de AH foram congeladas, liofilizadas e armazenadas em recipientes plásticos e mantidas em dessecador para leituras espectroscópicas.

Para verificação de impurezas, foram calcinados aproximadamente 20 mg do AH a 600 °C por 2 horas em cadinhos de platina, pré-calcinados a 600 °C, também por 2 horas e, através da diferença de massa obtida em balança eletrônica Mettler AE 200, com precisão de $\pm 0,5$ mg obteve-se o teor de cinzas do AH calculado segundo a equação: $C = 100 \times m/m_0$. Na referida equação, C representa o teor de cinzas (em %), m representa a massa (mg) da amostra calcinada, e m_0 representa a massa (mg) da amostra não calcinada.

Com o AH purificado foram realizadas medidas utilizando-se espectroscopias de Absorbância e Fluorescência na região do UV/Vis, Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) e Ressonância Magnética Nuclear (RMN). O extrato de AF foi analisado apenas por espectroscopia de absorbância na região do UV/Vis.

Para as medidas por FTIR, as amostras de AH foram analisadas em pastilhas (Stevenson, 1994), utilizando espectrômetro Perkin-Elmer, modelo Spectrum 1000. As pastilhas foram preparadas na proporção de 1 mg de amostra de AH para 100 mg de KBr seco em estufa a 105 °C, maceradas em cadinho de ágata e prensadas em pastilhador, sob vácuo, por 2 minutos em prensa hidráulica com carga equivalente a 6 toneladas. Os espectros foram obtidos a partir de 32 varreduras no intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} com resolução espectral de 4 cm^{-1} .

Os espectros de absorbância na região da luz ultravioleta e do visível (UV/Vis) de AH, foram obtidos em duplicatas, com concentração de 20 mg L^{-1} da amostra em solução de NaHCO_3 0,05 mol L^{-1} , ajustadas para pH 8. A aquisição dos espectros ocorreu na faixa de 800 a 200 nm, com abertura de fendas de entrada e saída em 10 nm, na velocidade de 200 nm min^{-1} . As medidas foram feitas em espectrômetro da marca Shimadzu, modelo UV 1601PC.

Os espectros de absorbância de luz ultravioleta visível (UV-Vis) do extrato de AF apenas dialisado foram obtidos em meio com concentração de NaHCO_3 0,05 mol L^{-1} . Para isso, diluiu-se 42 mg de NaHCO_3 em 10 mL de extrato de AF dialisado ajustando-se o pH para valor 8. Sempre que necessário, fez-se diluição do extrato com solução de NaHCO_3 0,05 mol L^{-1} , até que valor de absorbância não ultrapassasse 1. As condições de análise e instrumentação são idênticas àquelas para AH.

Para análise por espectroscopia de fluorescência de luz (UV-Vis) do AH, utilizou-se a mesma solução descrita para análise de absorbância na região do UV/Vis. As medidas foram feitas em duplicata pelos modos de emissão (ZSOLNAY et al., 1999; MILORI et al., 2002) e pelo modo de varredura sincronizada (KALBITZ et al., 1999). Pela metodologia

proposta por Milori et al. (2002), mediu-se o espectro de emissão com excitação em 465 nm, intervalo de varredura entre 480 - 700 nm com filtro aberto. A determinação do índice de humificação do AH foi baseada na absorção em 465 nm (A_{465}).

Para a metodologia proposta por Zsolnay et al. (1999) mediu-se o espectro de emissão com excitação em 240 nm, intervalo de varredura entre 300 e 700 nm e filtro de 290 nm. A área sobre o maior quarto de emissão entre 570 e 641 nm (A_4), dividida pela área sobre o menor quarto entre 356 e 432 nm (A_1), denominado A_4/A_1 , foi utilizada como índice de humificação do AH.

Os espectros de varredura sincronizada (KALBITZ et al. 1999), foram obtidos entre 220 e 650 nm simultaneamente com excitação e emissão com filtro aberto de 290 nm, tomando como diferença constante de comprimento de onda ($\Delta\lambda$) de 55 nm. O índice de humificação (I_{468}/I_{374}) foi determinado a partir da razão entre as intensidades de fluorescência em 448 e 408 nm, respectivamente. Os espectros foram obtidos em espectrômetro de luminescência Perkin Elmer LS-50B.

A caracterização do AH quanto ao sinal de RPE foi feita seguindo o procedimento descrito por Martin-Neto et al. (1991). As medidas dos radicais livres orgânicos (RLO) foram realizadas utilizando o espectrômetro de onda contínua da Bruker-EMX, com cavidade ressonante retangular, operando em banda X (~9 GHz) em temperatura ambiente. As amostras foram colocadas em tubos de quartzo de 2,5 mm de diâmetro interno. A amostra ocupava uma altura 0,5 cm do tubo, com massa aproximada de 20 mg.

A concentração de RLO foi obtida pela área dos sinais do radical livre através da integração dupla do espectro de RPE utilizando a aproximação $I \times \Delta H^2$ (Poole e Farach, 1972), onde I corresponde à intensidade do sinal e ΔH à largura de linhas tomadas pico a pico. Para determinação da concentração relativa dos RLO, utilizou-se o método do padrão secundário com cristal de rubi (Singer, 1959) e o padrão "strong pitch" da Bruker com conhecida concentração de spins e as quantidades de RLO foram normalizadas pela massa de cada amostra.

Os espectros dos AH por RMN de ^{13}C foram obtidos no estado sólido com polarização cruzada e amplitude variável, e rotação segundo o ângulo mágico (^{13}C VACP-MAS). Foi utilizado espectrômetro VARIAN, modelo Unity-Inova 400, campo de 9,4 T, operando a 100,57 MHz para o ^{13}C e 400 MHz para o ^1H , instalado na Embrapa Instrumentação. Empregou-se uma sonda de sólido da Varian com rotores cilíndricos ($\varnothing$ 5 mm) de zircônia com tampa de Kel-F, preenchidos com aproximadamente 150 mg da amostra. A velocidade de rotação segundo o ângulo mágico foi de 9 kHz. Utilizou-se a

seqüência de pulsos ^{13}C VACP-MAS que inclui um pulso de preparação de ^1H de 4 μs , 1 ms de tempo de contato e tempo de aquisição de 12 ms, 1s de tempo de espera entre os pulsos e rampa de potência de 25%.

Os deslocamentos químicos foram expressos em ppm. Foi utilizado hexametilbenzeno (HMB), que apresenta banda de maior intensidade em 17,2 ppm, como referência de posição espectral. A integração dos espectros ocorreu em regiões distintas: 0-45 ppm (C-alifáticos não substituídos), 45-60 ppm (metoxil e C-N alifáticos), 60-110 ppm (C-O-alifáticos), 110-140 ppm (C-aromáticos), 140-160 ppm (C-O-fenólicos), 160-185 ppm (C-carboxílicos) e 185-230 ppm (C-carbonílicos).

Calculou-se a área de cada região espectral normalizada pela área total do espectro. A porcentagem de aromaticidade/alifaticidade (I.A.) dos tratamentos foi obtida pela razão da área dos sinais de C aromáticos 110-160 ppm dividida pela área dos sinais de C 0-160 ppm. Os dados obtidos com as medidas de solo inteiro foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico sisvar (FERREIRA, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grau de Humificação da MOS no Solo Inteiro

A concentração de COT e o grau de humificação da MOS (H_{FIL}) em amostras de solo inteiro, na profundidade de 0-20 cm (Figura 2 A e B), indicaram diferença significativa entre os sistemas de manejo dos adubos orgânicos. O sistema GS foi Os demais sistemas não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 2A). Isso pode ser explicado pela ausência do revolvimento do solo e alteração dos agregados, protegendo, portanto, a MOS lábil, o que proporcionou, na prática, maior conservação deste carbono lábil no sistema de produção.

A concentração de carbono é fator fundamental para a obtenção do grau de humificação da MOS em amostras de solo inteiro, pela técnica espectroscópica FIL. A correlação negativa entre concentração de carbono do solo e grau de humificação é reportada pela literatura (SANTOS, 2009). A avaliação quanto ao grau de humificação, parâmetro importante para a determinação da estabilidade da MOS (SANTOS, 2009), em amostras de solos inteiros, pela FIL, é uma metodologia nova, porém com resultados

importantes e eficientes, por não ser destrutiva, ágil, limpa, e bem próximas às condições naturais (MILORI et al., 2003, 2006).

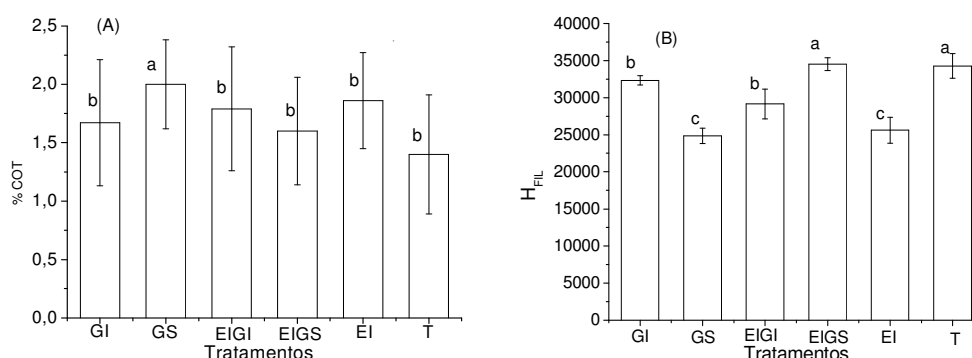


Figura 2 (A). Porcentagem de carbono orgânico total (COT); (B) H_{FIL} da MOS obtido a partir da técnica de fluorescência induzida por laser (FIL) em amostras de um Neossolo Flúvico. GI = Gliricídia incorporada ao solo; GS = Gliricídia em superfície; EI e GI = Esterco e Gliricídia, incorporados; EI e GS = Esterco incorporado e gliricídia em superfície; EI = Esterco incorporado; T = Tratamento testemunha sem adição de adubo. Os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os maiores graus de humificação em amostras de solo inteiro foram obtidos com a aplicação ao solo dos tratamentos, EI+GS e T, os quais não diferiram entre si (Figura 2B). Isso pode ser justificado devido à gliricídia rica em nitrogênio, aplicada na superfície do solo juntamente com esterco incorporado, aumentar a mineralização da MOS menos estabilizada pelos micro-organismos restando então a MOS mais recalcitrante e, conseqüentemente, mais humificada (GONZÁLEZ-PEREZ, 2007). Com o tempo a diminuição dos estoques de MOS lábil poderá acarretar em menor disponibilidade de energia e, conseqüentemente, menor atividade microbiana no solo, o que pode ser negativo para o agroecossistema.

A ocorrência desse comportamento nos dois tratamentos pode ser justificado devido à adição de MO fresca de fácil decomposição, e o revolvimento do solo que favoreceram a atividade microbiana no solo, que mineralizou tanto o carbono lábil adicionado quanto também parte da MO original do solo, constituindo o efeito *priming* (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006) sobrando o material mais recalcitrante, com maior valor de H_{FIL}. Fato parecido, também, foi observado para a não aplicação de adubos orgânicos (tratamento T), com apenas o revolvimento do solo, situação semelhante a que ocorre com as áreas agricultáveis na região semiárida do Nordeste do Brasil.

Os resultados obtidos na Figura 2A indicaram que os menores graus de humificação foram obtidos quando se aplicou os tratamentos GS e EI. A aplicação da biomassa da

glicíδια em superfície e o esterco incorporado favorecem o aumento do teor da MOS menos recalcitrante. Por outro lado a biomassa de glicíδια com alta concentração de N quando aplicada em superfície favoreceu maior produção de biomassa das culturas anuais (PRIMO et al., 2012) e aportou maior quantidade de C também na forma lábil no solo. A explicação para o esterco incorporado em indicar a MOS menos humificada comparado com a glicíδια está relacionado ao processo mais lento de decomposição.

O aumento de matéria orgânica fresca em superfície do solo pode causar diluição da MOS mais humificada, resultando em alto teor de carbono e baixo grau de humificação (FAVORETO et al., 2008). Nesses casos, a MOS tenderá a ser menos humificada e possuirá concentração elevada de compostos facilmente decomponíveis por micro-organismos quando renovada constantemente ou protegida no interior de agregados e em complexos organominerais, que retardam sua ciclagem (OADES, 1989).

A decomposição acelerada das porções mais lábeis da MOS também pode ocorrer com o revolvimento do solo, resultando em incremento relativo de estruturas mais recalcitrantes, o que não é desejável para finalidades agrícolas devido ao maior tempo no processo de ciclagem de nutrientes. O aumento da concentração de estruturas recalcitrantes é um indicativo da mineralização mais acentuada do material lábil (MILORI et al., 2002). A humificação da MOS envolve a degradação de materiais lábeis como carboidratos e proteínas e acumulação daqueles quimicamente mais recalcitrantes, como estruturas que reúnem anéis benzênicos (NOVOTNY et al., 2009).

Dessa forma, o tratamento EI + GS nas condições em que foi realizado o estudo foi o mais expressivo dentre os demais, quanto à estabilidade da MO determinado pela FIL, significando que a aplicação deste manejo eleva o grau de humificação da MOS, com provável diminuição da quantidade de carbono lábil, compartimento de suma importância para finalidades agrícolas. O grau de humificação é um indicador da estabilidade da MOS decorrente do seu processo de decomposição, o qual está relacionado, mais especificamente, à oxidação dos polissacarídeos das plantas, preservação de compostos orgânicos mais recalcitrantes como a lignina, estruturas fenólicas e compostos de origem microbiana (MILORI et al., 2002).

Os resultados aqui obtidos permitiram avaliar a influência do manejo da adubação orgânica aplicado em um Neossolo Flúvico em aumentar ou não, a recalcitrância da MOS. Contudo, é importante ressaltar que nas amostras de solos inteiras, estão presentes além do AH, as frações AF e a HU, bem como matéria orgânica não humificada, representada por restos vegetais e animais ainda não decompostos.

Caracterização do AH em solução por fluorescência de luz e UV-Vis

Os resultados obtidos por fluorescência em solução do AH das amostras de solo, indicaram que os tratamentos onde foi aplicada a gliricídia em superfície (GS) apresentaram maior grau de humificação (Figura 3 A e B). Os tratamentos com menor intensidade de fluorescência (Figura 3 A, B e C), indicam menor grau de humificação e, portanto, possuem menor conteúdo de núcleos aromáticos, substituídos por grupos COOH e C=O, e/ou a sistemas insaturados conjugados (NARIMOTO, 2006).

O comportamento destes manejos de adubação e dos demais, quanto ao grau de humificação do AH, ocorreu de forma semelhante para as metodologias proposta por Milori et al., (2002) e Kalbitz et al. (1999), apresentando boa correlação e significância ($R = 0,95$; $P < 0,0034$) e também incremento quanto ao grau de humificação para todos os tratamentos avaliados (Figura 4 A).

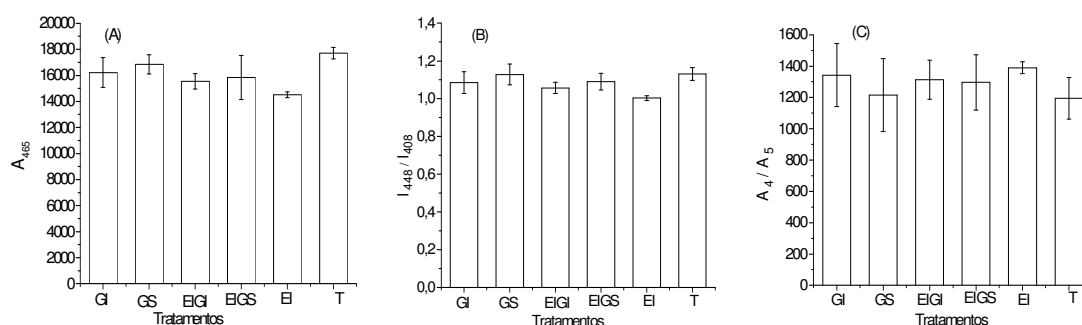


Figura 3. Índice de humificação de AH em solução por espectroscopia de fluorescência de luz, (A) emissão (Milori 2002), (B) varredura sincronizada (Kalbitz, 1999) e (C) emissão (Zsolnay, 1999), GI = Gliricídia incorporada ao solo; GS = Gliricídia em superfície; EI e GI = Esterco e Gliricídia, incorporados; EI e GS = Esterco incorporado e gliricídia em superfície; EI = Esterco incorporado; T = Tratamento testemunha sem adição de adubo. As barras de erro representam o desvio padrão das repetições analíticas ($n = 3$) de AH das amostras compostas do solo.

De acordo com Saab e Martin-Neto (2007), o aumento da massa molecular e condensação de carbono aromático, causam decréscimo em razão E_4/E_6 estando esta diretamente relacionada aos grupos aromáticos condensados. A razão E_4/E_6 é a absorvância a 465 nm/absorvância a 665 nm que tem sido associada também ao grau de humificação das SHs. Razão E_4/E_6 alta, indica maior presença de estruturas alifáticas menos humificadas e baixo significa constituintes aromáticos mais humificados. Quanto menor E_4/E_6 maior grau de condensação da amostra (MARTIN-NETO et al., 2009).

A caracterização do AH por espectroscopia UV-Vis, demonstrou que os tratamentos EI + GI e EI (Figura 4 B), apresentaram razões E_4/E_6 , que indicam maior condensação estrutural e, portanto, maior grau de humificação. A relação E_4/E_6 está associada à

aromaticidade e ao grau de condensação dos AH, sendo entendida como índice de humificação (KONONOVA, 1982). Este resultado mostrou-se muito semelhante quando comparados ao obtido por fluorescência (Figura 3 C) pela metodologia de fluorescência sugerida por (ZSOLNAY, 1999). Isso provavelmente pode ser justificado devido à concentração da lignina da gliricídia que se integrou diretamente à fração humificada sem o processo de biossíntese e que favoreceu certo grau de condensação do carbono, fração humificada esta desenvolvida via de herança, que é a evolução dos compostos insolúveis lignificados que apresentam estabilização direta devido à abundância de precursores húmicos (GUERRA et al., 2008).

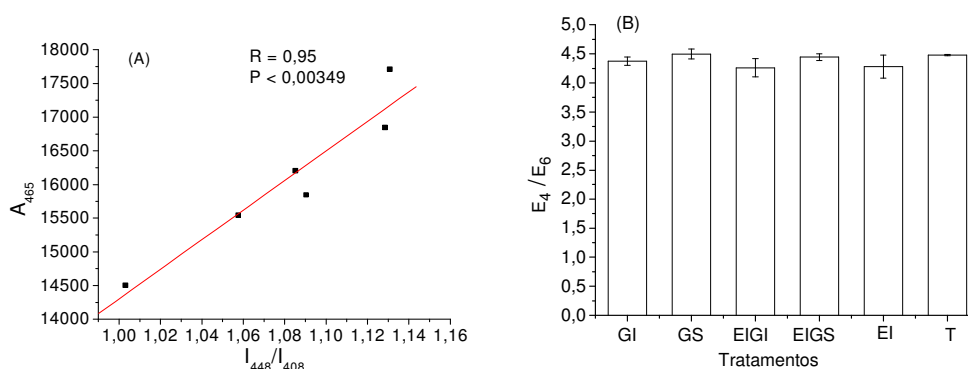


Figura 4 (A) Correlação entre os índices de humificação do AH em solução por emissão (Milori 2002) e varredura sincronizada (Kalbitz, 1999). (B) Índice de humificação de AH por UV-vis razão E_4/E_6 . GI = Gliricídia incorporada ao solo; GS = Gliricídia em superfície; EI e GI = Esterco e Gliricídia, incorporados; EI e GS = Esterco incorporado e gliricídia em superfície; EI = Esterco incorporado; T = Tratamento testemunha sem adição de adubo.

Caracterização do Extrato de Ácido Fúlvico

Nenhuma mudança foi observada nos espectros dos AH em função dos tratamentos de adubação aplicados (Figura 5 A). As mudanças estruturais mais evidentes da MOS, na região do UV/Vis, ocorreram na fração AF (Figura 5 B). Foram observados o aparecimento de bandas em 235 nm, nas amostras onde houve a incorporação de adubo no solo. A banda em 205 nm é característica de carbonilas (aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos e ésteres). A banda em 235 nm é característica da presença de dienos e mais provavelmente, à presença de grupos carboxílicos ligados a anéis aromáticos não conjugados, característico de AF e de matéria orgânica fresca.

O ombro em 285 nm é característico da presença de fenóis, muito típico de substâncias húmicas, sendo mais pronunciado nos AH. Maiores valores de absorbância em comprimentos de onda maiores (característico de AH) representam sobreposição de sinal de diversos sistemas eletrônicos conjugados (MARTIN-NETO et al., 2009). Os sinais mais

pronunciados em 235 nm indicaram que houve diferenças na MO solúvel onde foi adicionada biomassa fresca ao solo. Isto ocorre devido à decomposição dos materiais originais, proporcionando mudanças significativas na estrutura da MO solúvel, representada pelos AF. Entretanto, não foram encontrados na literatura resultados com estudos dessa natureza, para possíveis comparações.

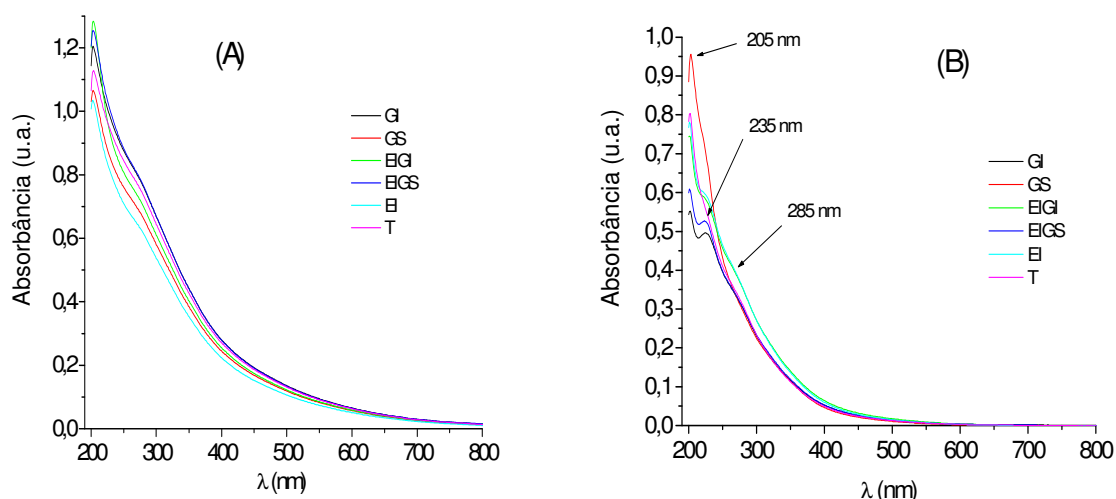


Figura 5. Espectros de absorvância na região do UV/Vis de AH (A) e de extrato de AF (B) dos diferentes tratamentos. GI = Gliricídia incorporada ao solo; GS = Gliricídia em superfície; EI e GI = Esterco e Gliricídia, incorporados; EI e GS = Esterco incorporado e gliricídia em superfície; EI = Esterco incorporado; T = Tratamento testemunha sem adição de adubo.

Caracterização do AH por FTIR

Na figura 6 observam-se os espectros de FTIR do AH. Estes podem fornecer informações qualitativas a respeito da estrutura destas substâncias. Comparando-se os espectros de AH entre os tratamentos, não foram observadas diferenças espectrais em relação aos seus respectivos grupos funcionais. De modo geral, os espectros de AH apresentaram bandas de absorção bem definidas, porém bem semelhantes em todos os tratamentos.

Os grupos funcionais determinados pela espectroscopia de FTIR mostram que o AH é constituído por alguns grupos, tais como hidroxilas, aminas, alquilas, carbonílicos e carboxílicos, ligados tanto a cadeias alifáticas quanto a anéis aromáticos (MARTIN-NETO et al, 2009; SANTOS et al.; 2010). A região compreendida entre 1700 e 1600 cm^{-1} (relativos à composição de ácidos carboxílicos e carboxilatos) é influenciada pela humificação da MOS, entretanto, estas bandas são fortemente influenciadas pelo grau de

protonação dos carboxilatos, que por sua vez, é resultante do pH do meio ou da quantidade de complexos organometálicos existentes.

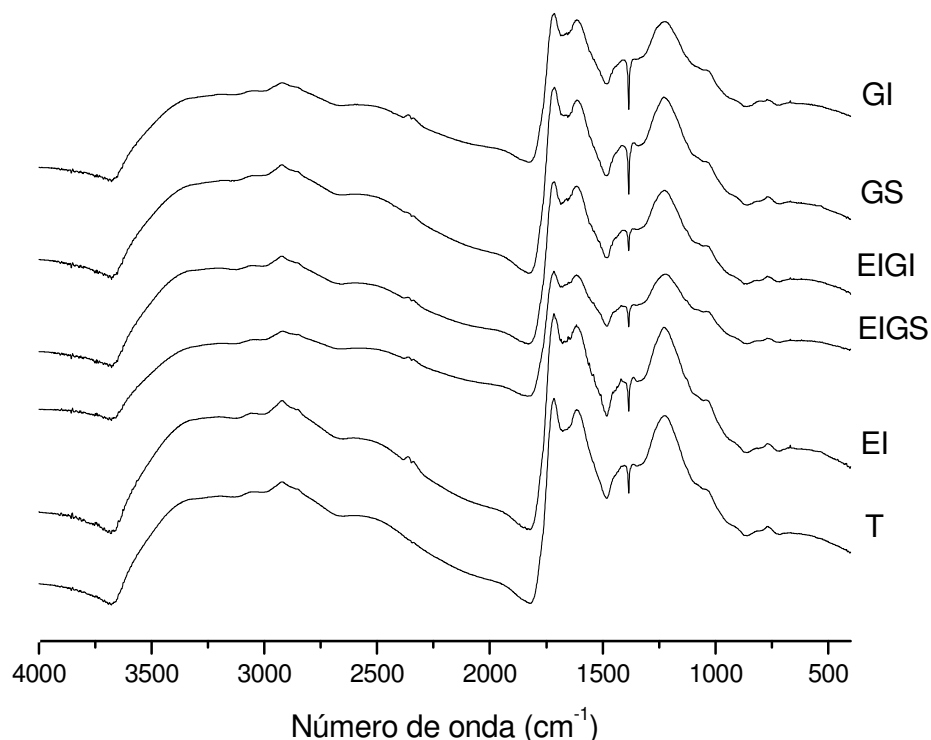


Figura 6. Espectros de infravermelho médio de AH. GI = Gliricídia incorporada ao solo; GS = Gliricídia em superfície; EI e GI = Esterco e Gliricídia, incorporados; EI e GS = Esterco incorporado e gliricídia em superfície; EI = Esterco incorporado; T = Tratamento testemunha sem adição de adubo.

O processo de gênese da MOS passa pela formação de ácidos carboxílicos, principalmente ligados a anéis aromáticos, oriundos do ataque microbiano às cadeias laterais na lignina e aos polissacarídeos (ABREU, 2009). A banda em torno de 3200 cm^{-1} é característica de estiramento da ligação OH proveniente de álcoois e fenóis, bem como o estiramento NH de aminas primárias ou secundárias (MARTIN-NETO et al., 2009).

A presença do grupamento C-N é sempre acompanhada de picos característicos da deformação axial de C-N alifático na região de absorção de $1450\text{--}1460\text{ cm}^{-1}$. A banda na região de 1542 cm^{-1} é associada aos estiramentos C=C de anéis aromáticos e a banda próxima a 1452 cm^{-1} também é atribuída ao estiramento C=C aromático (Freixo, 2000).

As bandas presentes na faixa de $2915\text{ a }2855\text{ cm}^{-1}$ são atribuídas à frequência de estiramento de grupos CH, CH₂ e CH₃, provenientes de cadeias alifáticas (CHIEN et al., 2003). Segundo Polak et al., (2005), bandas nesta região indicam um alto grau de alifaticidade dos ácidos húmicos, decorrente de baixo grau de humificação da amostra em questão.

Caracterização do AH por RPE

No solo, a estabilidade química do C ocorre com a formação de SHs, por meio de um processo genericamente denominado humificação, podendo ser estimado pelo aumento da concentração do radical livre orgânico (RLO) no AH (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004). Com o avanço da humificação ocorre a policondensação e a conjugação de estruturas insaturadas. Grupamentos fenólicos formados durante o processo de decomposição da matéria orgânica são convertidos em quinonas, via reações de oxidação, as quais são precursoras de radicais livres do tipo semiquinonas no AH (Milori et al., 2002; Rivero et al., 2004), que se estabilizam com o avanço da humificação.

O grau de humificação da MOS pela espectroscopia de RPE, é avaliada pela intensidade dos espectros do RLO (Figura 7A) e calculada pelo número de spins eletrônicos, os quais neste estudo, variaram entre os tratamentos (Figura 7 B) de 2,1 a 2,8 ($\times 10^{15}$) spins g^{-1} de amostra. Verificou-se que os valores mais elevados quanto à concentração do RLO do AH foram expressivos para os tratamentos GI e T, indicando que o AH desses tratamentos, possui maior grau de condensação e alta aromaticidade. Isso possivelmente pode ser evidenciado devido aos manejos aplicados com gliricídia incorporada ao solo e o revolvimento do solo que favoreceram a decomposição mais rápida da MOS.

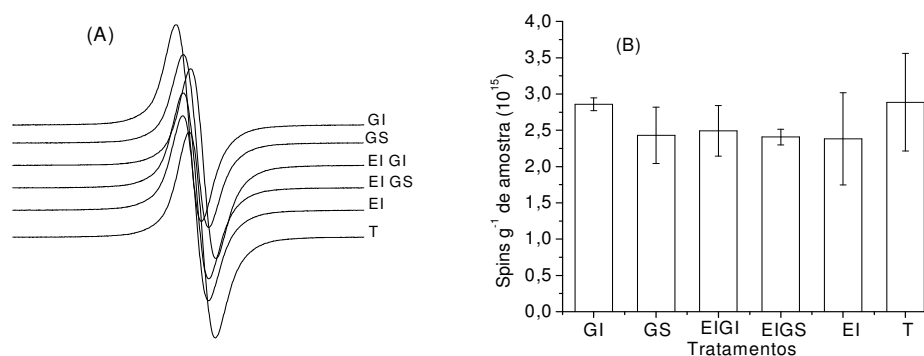


Figura 7 (A). Espectros RPE do AH e (B) índice de humificação do AH por RPE.

Caracterização do AH por RMN

As bandas de ressonâncias nos espectros de RMN ^{13}C são divididas em regiões entre 0 e 230 ppm, correspondentes a diferentes grupos funcionais encontrados em compostos orgânicos. Na região 0-45 ppm ocorre o C-álquil, 45-60 o C-O-Metoxila ou C-N-Álquil,

60-110 ppm representa o C-O-alquil, 110-160 ppm está a ressonância do C-aromático, 160-185 ppm predomina o C-carboxílico e 185-230 ppm representam o C-carbônico (KÖGEL-KNABNER, 1997). A figura 8 mostra os espectros de ^{13}C RMN VACP/MAS dos AH, e a Tabela 2 indica os resultados das integrações das principais regiões e os respectivos valores percentuais obtidos de C alifático (região 0-110 ppm) e C aromático (região 110-230 ppm). Observou-se no geral que os espectros de AH foram semelhantes e bem definidos em todos os tratamentos avaliados.

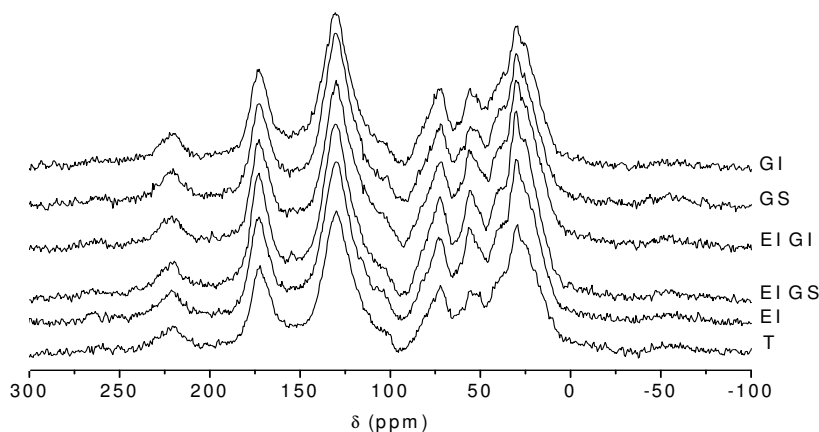


Figura 8: Espectros de RMN dos AH dos distintos sistemas de manejo de adubação.

A intensidade da ressonância na região 0-45 ppm foi expressiva, representa materiais de cadeia alifática longa, geralmente de origem graxa (óleos, ceras, gorduras e ácidos graxos). A região entre 45-60 ppm, é característica de carbono metoxílico (O-CH₃) ou ligado a nitrogênio, oriundos da inserção de materiais derivados de lignina ou proteína, respectivamente. A região entre 60-110 ppm, é resultado da presença de C-O de estruturas de polissacarídeos (principalmente celulose. Na região de 110-160 ppm (carbono de anel aromático e C-O de fenóis), os espectros apresentaram sinais bastante intensos, mas apesar disso, os valores percentuais das integrais de área dos espectros, nos diferentes sistemas de adubação, apresentaram variações discretas (Tabela 2).

A região (0-45 ppm), correspondente ao C-alquil indica a presença de estruturas alifáticas, sendo que o sinal dominante, que ocorre geralmente em torno de 30 ppm, representa longas cadeias de polietileno (-CH₂) presentes em ácidos graxos, ceras ou biopolímeros alifáticos. A região entre 45-60 ppm, característico de O-CH₃ ou C-N, apresenta variações de forma nas amostras que contém a incorporação de esterco (EI, EI + GC e EI+ GI), indicando incorporação de resíduos de lignina ou material protéico à estrutura húmica.

Tabela 2. Regiões espectrais em ppm e porcentagem de alifaticidade e aromaticidade do AH obtidos por RMN

Trat	Regiões Alifáticos				Regiões Aromáticos					
	¹³ C por regiões de ppm (%)									
	Alquilas		O-alkilas		Aromáticos		Carbonilas			
	0-45	45-60	60-110	Total	110-140	140-160	160-185	185-230	Total	I.A. ⁽¹⁾
GI	27,0	8,0	14,0	49	24,0	7,0	13,0	7,0	51	0,63
GS	28,0	8,0	14,0	50	25,0	6,5	12,5	6,0	50	0,63
EI GI	30,0	9,0	15,0	54	23,0	6,0	12,0	5,0	46	0,54
EI GS	28,0	9,0	15,0	52	22,0	6,5	13,0	6,5	48	0,55
EI	28,0	9,0	15,0	52	23,0	6,5	12,5	6,0	48	0,57
T	29,0	8,0	14,0	51	25,0	6,0	13,0	5,0	49	0,61

⁽¹⁾Índice de aromaticidade

A ressonância na região 60 a 100 ppm é devida aos carbonos nas posições 2, 3, 4, 5 e 6 da glicose presente na celulose. O sinal em 105 ppm (representado por um ombro nos espectros) é característico do C1 da mesma estrutura. Nota-se pouca variação nesta região, indicando pouca inclusão de derivados de polissacarídeos na estrutura dos AH, independentemente do manejo adotado. Na região do C-aromático a principal linha, próxima a 130 ppm, é devida à presença de carbono de anel aromático (SKJEMSTAD et al., 1983). A maior concentração de C aromáticos pode estar relacionada com a acumulação de estruturas de ligninas, taninos, compostos fenólicos e/ou presença de fontes de C pirogênico (ALCÂNTARA, 2006).

Um dos parâmetros importantes obtidos por ¹³C RMN é o índice (ou grau) de aromaticidade (I.A.), o qual representa a relação de sinal obtido para os grupos aromáticos (110-160 ppm) em relação aos alifáticos (0-110 ppm) (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004). Esta tem sido uma das técnicas mais utilizadas no estudo da matéria orgânica do solo, por identificar os grupos funcionais de carbono, permitindo a proposição de inferências sobre sua estabilidade (DALMOLIN, 2002) e pela possibilidade de caracterizá-la estruturalmente (KÖGEL-KNABNER 1997). Em outras palavras, valores de I.A. mais elevados indicam maiores graus de humificação da matéria orgânica do solo.

Os resultados (Tabela 2) mostraram que os manejos com o esterco bovino (EI, EI + GS e EI + GI) foram os que apresentaram menores valores de I.A., inferindo que o esterco, proporciona a incorporação de material derivado de compostos alifáticos e, derivados de polissacarídeos, oriundos das fibras vegetais presentes. As amostras analisadas apresentaram um valor bastante elevado de estruturas aromáticas (110-160 ppm). Estes sinais (Figura 8) podem estar associados à composição do material orgânico adicionado, rápida decomposição da biomassa da gliricídia e, muito provavelmente, devido ao clima e, às características peculiares do solo do semiárido, que favoreceu a degradação do material

orgânico adicionado anualmente, ou ainda também, devida à ocorrência confirmada pelo histórico, de queimadas em momentos muito antes no local em que o experimento foi conduzido.

A alta aromaticidade das amostras, em comparação com amostras de outras regiões, pode também ser explicada pelo histórico de ocupação do sítio (pelo menos 100 anos de cultivo) associado à prática recorrente de uso do fogo para eliminação de restos de cultivo. A estabilização da MOS depende da sua composição, pois pode conter compostos orgânicos de fácil oxidação, bem como aqueles pouco susceptíveis a decomposição (DALMOLIN, 2002). De acordo com Fontana (2006), as regiões onde há ocorrência de queimadas, a qualidade e quantidade da MOS pode, ao longo do tempo, ser influenciada pela produção de carvão que representa uma fração do carbono orgânico total (COT) bastante aromática.

O uso de queimadas proporciona efeitos sobre a fertilidade dos solos como o aumento da decomposição da matéria orgânica mais lábil (TAMM, 1991). Além disso, promovem a combustão incompleta do material orgânico, favorecendo a formação de diversos compostos genericamente denominados carbono pirogênico, os quais pela sua recalcitrância representam um importante reservatório de carbono estável no solo. O carbono pirogênico (*black carbon*), tem elevada resistência à decomposição química e biológica em virtude de sua formação/transformação pelo fogo (KNICKER, 2007).

Estudos realizados por Novotny et al. (2006), mostraram que em regiões onde ocorreu queima com frequência, os ácidos húmicos continham grandes proporções de carbono aromático e carboxílico. O aumento da aromaticidade das substâncias húmicas devido à queima deve-se não apenas ao enriquecimento seletivo de componentes aromáticos, por conta da oxidação de materiais mais lábeis, mas também por neoformação de componentes aromáticos (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004).

Os resultados obtidos por RMN demonstraram de maneira geral, que os sistemas de manejo de adubação utilizados apresentaram o mesmo padrão de espectro (Figura 8), verificando-se distribuição semelhante dos diferentes grupos de carbono e intensidade do sinal nos espectros de RMN ^{13}C . Porcentagens elevadas em aromaticidade dos AH foram observados nos sistemas de manejos GI e GS, indicando que, nestes manejos sem adição de esterco, ocorre rápida degradação (efeito priming) da MO já existente, devido ao aporte de N lábil ao solo contido na gliricídia e/ou devido ao revolvimento do solo, originando AH ricos em anéis aromáticos e estruturas fenólicas, característicos de materiais mais recalcitrantes (KNICKER, 2007).

Com base no percentual da razão aromaticidade/alifaticidade, observou-se que os tratamentos GI e GS (Tabela 2) quando comparados aos demais, foram os que apresentaram a maior razão. Além do mais, comparando-se os índices de humificação dos AH obtidos pelas espectroscopias FIL, UV-vis e EPR com os resultados obtidos por RMN, pode-se observar certa congruência nas informações para alguns tratamentos, corroborando os resultados de trabalhos realizados por Saab e Martin-neto (2007), Canellas et al. (2007) e González-Pérez et al. (2007).

O principal efeito observado da aplicação da biomassa da gliricídia no solo sobre a MOS, foi o aumento na quantidade de C atribuído a compostos aromáticos (deslocamento químico entre 110 e 150 ppm). Foram observados maiores valores no grau de aromaticidade dos AH dos tratamentos com gliricídia tanto incorporada quanto em superfície (GI, GC), indicando maior recalcitrância da MOS, similar aos AH provenientes da Testemunha. O aumento da aromaticidade é uma das principais transformações químicas decorrentes do aumento do processo de humificação e estabilização dos MOS, e pode estar associado a efeitos deletérios de aceleração da taxa de mineralização da MO lábil, com acúmulo relativo de estruturas mais recalcitrantes (STEVENSON, 1994; MILLORI et al., 2002).

CONCLUSÕES

A aplicação da biomassa da gliricídia, incorporada ao solo ou em superfície sem esterco bovino, aumentou o grau de humificação da matéria orgânica do solo, supostamente em decorrência da decomposição mais acelerada das frações lábeis. Observou-se também que a fração lábil da matéria orgânica teve menores estoques no solo das parcelas que sofreram revolvimento do solo.

Por outro lado, a aplicação combinada de um adubo verde com alta qualidade, como é o caso da gliricídia, com o esterco bovino, que apresenta menor labilidade, no presente estudo, levaram a um maior acúmulo de MOS com menor grau de humificação, o que pode ser mais favorável tanto para as culturas agrícolas quanto para o sequestro de C da atmosfera.

Os espectros obtidos pela espectroscopia por ressonância magnética nuclear (RMN) de ^{13}C indicaram que o ácido húmico dos tratamentos sob os manejos de adubação orgânica aplicados, possui alto grau de aromaticidade. A RMN demonstrou ser, entre as

espectroscopias aplicadas, a mais sensível aos resultados obtidos, por fornecer espectros bem definidos e pronunciados quanto ao grau de aromaticidade dos ácidos húmicos.

O alto grau de aromaticidade da matéria orgânica do solo no presente estudo reflete uma característica peculiar, que pode ser decorrente ou de um histórico de intensas e constantes queimadas na região do estudo, produzindo materiais com características de “black-carbon”, ou de uma característica natural da MO da região. Outros estudos deverão ser feitos no sentido de compreender melhor a razão de tal fato.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) MCT/CNPq/CT-Agronegócio Nº 43/2008, à Embrapa pela infraestrutura, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), processo IBPG -1662-5.01/08, processo AMD - 0053-3.00/11 pelo apoio financeiro à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, C.H.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES, M.L.; SILVA, W.T.L. Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: ALLEONI, L. R.F.; MELO, V.F. Química e mineralogia do solo. 2009.

ALCÂNTARA, F.A. Pirólise associada à cromatografia gasosa e espectrometria de massa aplicada a estudos de caracterização química da matéria orgânica do solo In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 2006. p.281-304.

ARANGO, G.; GONZÁLEZ, H. Cambios químicos durante la compostación de residuos de cosecha. Suelos Ecuatoriales, Colombia, v.29, n.1, p.25-31, 1999.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison: ASA,. v.2, cap.31, p.595-624, 1982.

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X. SIMÕES, M.L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.2, p.331-340, 2007.

CHIEN, S.W.C.; HUANG, C.C.; WANG, M.C.; Analytical and spectroscopic characteristics of refuse compost derived humic substances. *International Journal of Applied Science and Engineering*, v.1, n.1, p.62-71, 2003.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, T.; MACEDO, J.R.; PAIXÃO RIBEIRO L.; PAMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.1, n.1, p.27-36, 2001.

DALMOLIN, R.S.D. Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). UFRS. Porto Alegre, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAVORETO, C.M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D.B.P.; ROSA, J.A.; LEITE, W.C.; BRINATTI, A.M.; SAAB, S.C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um latossolo e de suas frações organo-minerais. *Química Nova*, v.31, n.8, p.1994-1996, 2008.

FERREIRA, D.F. SISVAR: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

FONTANA, A. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

FREIXO, A.A. Caracterização da matéria orgânica de latossolo sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 86p. (Tese de Mestrado).

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MILORI, D.M.B.P.; COLNAGO, L. A.; MARTIN-NETO, L.; MELO, W. J. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in a brazilian oxisol under different tillage systems. *Geoderma*, Amsterdam, v.138, n.1-2, p.20-24, 2007.

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; BAGNATO, V.S.; COLNAGO, L.A.; MELO, W.J. & KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma*, v.118, n.3-4, p.181-190, 2004.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Metrópole: Porto Alegre, 2008.

KALBITZ, K.; GEYER, W.; GEYER, S. Spectroscopic properties of dissolved humic substances – a reflection of land use history in a fen area. *Biogeochemistry*, v.47, n.2, p.219-238, 1999.

KONONOVA, M. M. *Matéria orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades e métodos de investigacion*. Barcelona: Oikos-Tau, 1982. 365 p.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v.85, n.1, p.91-118, 2007.

KNICKER, H.; SCHMIDT, M.W.I.; KOGEL-KNABNER, I. Immobilization of peptides in fine particle size separates of soils as revealed by NMR spectroscopy. *Soil Biology Biochemistry*, 32:241-252, 2000.

KNICKER, H.; ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA, F.J.; GAZALEZ-PEREZ, J. A.; POLVILLO, O. Characteristic alterations of quantity and quality of soil organic matter caused by forest fires continental Mediterranean ecosystems: A solid-state C-¹³ NMR study. *European Journal Soil Science*, v.57, n.4, p.558-569, 2006.

KÖGEL-KNABNER, I. ¹³C and ¹⁵N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies. *Geoderma*, Amsterdam, v.80, n.3-4, p.243-70, 1997.

MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; DA SILVA, W.T.L.; SIMOES, M.L. EPR, FTIR, Raman, UV-visible light absorption and fluorescence spectroscopies in studies of humic substances. In: N. SENESI, B. XING, P.M. HUANG. (Eds.). *Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Organic Matter in Environmental Systems*. Hoboken, New Jersey: Wiley IUPAC Series, 2009 p.651-728.

MARTIN-NETO, L.; DA SILVA, W.T.L.; MILORI, D.M.B.P. (Eds.) *Humic Substances and Soil and Water Environment*. São Carlos: Rima/Embrapa, 2004. 763p.

MARTIN-NETO, L.; NASCIMENTO, O.R.; TALAMONI, J.; POPPI, N.R. EPR of micronutrients-humic substance complexes extracted from Brazilian. *Soil Science*, v.151, n.55, p.369-376, 1991.

MC PHIE, P. Enzyme purification and related techniques: dialysis. In: JACOBY, W.B. (Ed.). *Methods and enzymology*. New York: Academic Press, 1971. v.22, p.25-175.

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J.C. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, n.1, p.57-63, 2006.

MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; BAGNATO, V.S.; Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*. v.167, n.11, p.739-749, 2002.

MOREIRA, F.M.S. SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MUNDUS, S.; MENEZES, R.S.C.; NEERGAARD, A.; GARRIDO, M.S. Maize growth and soil nitrogen availability after fertilization with cattle manure and/or gliricidia in semi-arid NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.1, p.61-73, 2008.

NARIMOTO, K.M. Técnicas espectroscópicas aplicadas à análise da matéria orgânica do solo em pomares de citros sob adição de lodo de esgoto. 2006. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

NOVOTNY, E.H.; BONAGAMBA, T.J.; AZEVEDO, E.R.; HAYES, M.H.B. Solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance characterization of humic acids extracted from Amazonian dark earths (Terra Preta de Índio) In: WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.; REBELLATO, L. (Ed.). Amazonian dark earths: wim sombroek's vision. Amsterdam: Springer, 2009. p.373-391

NOVOTNY, E.H.; HAYES, M.H.B.; AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J. Characterisation of Black Carbon rich samples by ^{13}C solid-state nuclear magnetic resonance. *Naturwissenschaften*, v.93, n.9, p.447-450, 2006.

OADES, J.M.; GILMAN, G.P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: NIFTAL Project, 1989. p.69-95.

POLAK, J.; SULKOWSKI, W.W.; BARTOSZEK, M.; PAPIEZ, W. Spectroscopic studies of the progress of humification processes in humic acid extracted from sewage sludge. *Journal of Molecular Structure*, v.744-747, p.983-989, 2005.

PRIMO, D.C., MENEZES, R.S.C., SILVA, T.O., GARRIDO, M.S., CABRAL, P.K.T. Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.1, p.81-88 2012.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v.7, n.5 p.1-13, 2011.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v.27, n.2, p. 29-48, 2003.

RIVERO, C.; CHIRENGE, T.; MA, L.Q.; MARTINEZ, G. Influence of compost on organic soil matter quality under tropical conditions. *Geoderma*, v.123. n.3-4, p.355-361, 2004.

SAAB, S.C. MARTIN-NETO, L. Anéis aromáticos condensados e relação E_4/E_6 : estudo de ácidos húmicos de Gleissolos por RMN de ^{13}C no estado sólido utilizando a técnica CP/MAS desacoplamento defasado. *Quimica. Nova*, v.30, n.2, p.260-263, 2007.

SANTOS, L.M.; SIMÕES, M.L.; DA SILVA, W.T.L.; MELO, W.J.; MARTIN-NETO, L. Characterization of organic matter from oxisols under sludge applications by fluorescence. *Soil Science Society of America Journal*, v.74, n.1, p.94-104, 2010.

SANTOS, L.M.; SIMÕES, M.L. SILVA, W.T.L.; MILORI, D.M.B.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J.; MARTIN-NETO, L. Caracterização química e espectroscópica de solos irrigados com efluente de esgoto tratado. *Eclética Química*. São Paulo, v.34. n.1, p.39-43, 2009.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SINGER, L. S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in electron paramagnetic resonance. *Journal of Applied. Physics.*, London, v.30, n.9 p.1463-1464, 1959.

SKJEMSTAD, J.O.; FROST, R.L.; BARRON, P.F. Structural units in humic acids from south-eastern Queensland soils as determined by ^{13}C NMR spectroscopy. *Australian Journal Soil Research*, Collingwood, v.21, n.4, p.539-547, 1983.

SNYDER, J.D.; TROFYMOW, J.A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil sample. In *Comm. Soil Science Plant Anal.* v.15, n.5, p.587-597, 1984.

STEVERSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2 ed New York: John Willey, 1994, 496p.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D., ed. *Methods of soil analysis: Chemical methods*. Soil Science Society America, 1996. Part 3. p.1018-1020. (Soil Science Society of America, Series, 5).

TAMM, C.O. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1991.

TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.61, n.1-2, p.99-103, 2001.

ZSOLNAY, A.; BAIGAR, E.; JIMENEZ, M.; STEINWEG, B.; SACCOMANDI, F. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere*, v.38, n.1, p.45-50, 1999.