

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM SOLOS
ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE MATÉRIA ORGÂNICA E
NUTRIENTES

FABIO FREIRE DE OLIVEIRA

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
JUNHO/2009

FABIO FREIRE DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM SOLOS
ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE MATÉRIA ORGÂNICA E
NUTRIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN. Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Doutor, em Ciências, Área de Concentração: Aplicação de Radioisótopos na agricultura e meio ambiente.

ORIENTADOR: IGNACIO HERNAN SALCEDO

**RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
JUNHO/2009**

O48a

Oliveira, Fábio Freire de.

Adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos: produtividade, dinâmica de matéria orgânica e nutrientes / Fábio Freire de Oliveira - Recife: O Autor, 2009.

44 folhas, il : figs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2009.

Inclui Bibliografia e Anexos.

1. Energia Nuclear. 2. *Solanum Tuberosum*. 3. Agricultura Familiar. 4. Esterco. 5. Lixiviação de Nutrientes. I. Título.

UFPE

621.042

CDD (22. ed.)

BCTG/2009-161

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM
SOLOS ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE
MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES**

Fabio Freire de Oliveira

APROVADO EM: 15.06.2009

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ignácio Hernan Salcedo

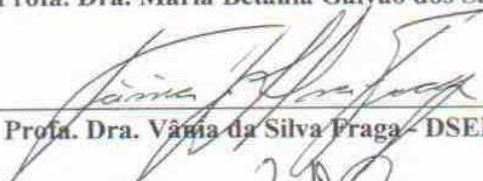
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Ignácio Hernan Salcedo – DEN/UFPE



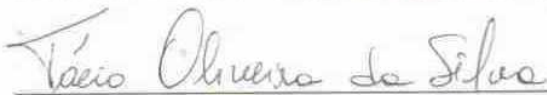
Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire – DA/UFRPE



Profa. Dra. Vânia da Silva Praga – DSER/UEPB



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



Prof. Dr. Tácio Oliveira da Silva – DEA/UFSE

Visto e permitida a impressão



Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

Dedico a **João Freire de Deus e Maria Angelina Freire de Oliveira,**
MEUS PAIS.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo Ignacio Salcedo, pelo alto nível dos ensinamentos e amizade.

A Professora Vânia da Silva Fraga.

Ao professor Everardo Sampaio e Rômulo Menezes.

A Professora Betânia Freire por participar da avaliação.

Ao Departamento de Energia Nuclear e ao PROTEN-UFPE , pela oportunidade.
Ao CNPq, pela concessão da bolsa.

A escola Laura Bezerra (Ensino básico), Escola Agrotécnica Federal de Crato-CE (Ensino médio) e a UFRRJ (Graduação e Mestrado).

Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo: Claudenice, Gilberto Pedrinho, Clarindo, Aldrin, Sandra, Rafael, Carla, Júlio, Dário, Tácio, Romildo, Marlon, Patrícia, Priscila, Laerte, Jônatas, Valdemir, Fred, Thiago, Bruno, Natalia, pelos momentos de alegria.

Aos colegas de curso Thiago, Mariana, Araújo, Laélia, Marcela, Nani, Sérgio, Cleomácio, Ariosto, Braulio, Tito, Carlos.

A Sr Antônio Luna, Edvaldo, Magali, Nilvânia, Alene, Norma e demais servidores do DEN.

Aos produtores rurais de Esperança–PB que abriram suas cancelas para a realização dos experimentos e pelos ensinamentos.

Aos irmãos Socorro, João, Tico, Célia, Zé, Angela, Ana, Isabel e CARLO (companheiro e incentivador permanente, esse é o CARA).

A minha Princesa RELDMILA ANDRADE FREIRE.

A minha Princesinha MARIA FERNANDA ANDRADE FREIRE.

A minha SOGRA Mirian de Andrade.

A Marluce Andrade.

Aos amigos de Cariri-mirim - PE.

A todos que acreditam que o conhecimento pode melhorar o mundo.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I - ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM SOLOS ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, NUTRIENTES NA PLANTA E LIXIVIAÇÃO.....	5
RESUMO.....	5
SUMARY.....	5
INTRODUÇÃO.....	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
CONCLUSÕES.....	17
LITERATURA CITADA.....	18
CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA DE ADUBAÇÃO DE BATATINHA COM ESTERCO E N MINERAL (¹⁵N) E EFEITO RESIDUAL NO CULTIVO DO MILHETO.....	21
RESUMO.....	21
SUMARY.....	21
INTRODUÇÃO.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
CONCLUSÕES.....	29
LITERATURA CITADA.....	30
CAPÍTULO III - DECOMPOSIÇÃO DE ESTERCO EM SOLOS ARENOSOS ADUBADOS COM ESTERCO E N MINERAL.....	32
RESUMO.....	32
SUMARY.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	34

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
CONCLUSÕES.....	42
LITERATURA CITADA.....	42

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM SOLOS ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, DINÂMICA DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES.

Fabio Freire de Oliveira

RESUMO

O objetivo geral desse trabalho foi estudar a relação da adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos, com a produtividade, nutrição da planta e dinâmica da matéria orgânica e nutriente no solo, em áreas cultivadas com batatinha. O estudo foi dividido em três etapas, cada uma com seus objetivos e metodologias específicas. **Etapla 1:** As relações entre os teores de nutrientes em solos com adubação orgânica e inorgânica e os teores de nutrientes e produtividade de batatinha foram determinadas, assim como, as relações entre aportes e a lixiviação de N e bases trocáveis. Foram coletadas amostras de solo das camadas de 0–20, 20–40 e 40–60 cm em 18 áreas de produção com adições anuais de esterco variando entre 2 e 40 anos e, como controle, quatro áreas sob pastagem não adubadas. Amostras de solo e planta foram analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca e Mg. A produtividade de batatas grandes teve relação positiva com a entrada de N e produtividade total com N total no solo. Somente o Ca no solo correlacionou-se com os teores na planta, mais não com a produtividade. As bases trocáveis tiveram aumento nas três camadas de acordo com o aumento do esterco aplicado, enquanto o N total só teve aumento nas de 0-20 e 20-40 cm. **Etapla 2:** O objetivo foi determinar a eficiência do sulfato de amônio (^{15}N) mais esterco na adubação da batatinha e do efeito residual no milheto (*Pennisetum glaucum*) cultivado em seqüência. Em experimento de campo em Neossolo regolítico foi comparada a combinação de 16 t ha⁻¹ esterco + 80 kg ha⁻¹ de N, utilizada mais freqüentemente na região, com doses de 11 t ha⁻¹ de esterco combinadas com 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N em doses únicas ou parceladas. A fonte de sulfato de amônio utilizado estava enriquecida em ^{15}N (2,5 % de abundância). Em todos os tratamentos avaliou-se a produção de matéria seca nos tubérculos e na parte aérea do milheto além da composição isotópica do N nesses materiais. A adubação com dose tradicional é excessiva neste solo, uma vez que a redução para 11 t ha⁻¹ esterco e 40 kg ha⁻¹ de N mineral não resultou em queda de produtividade das culturas; no entanto, houve queda no caso de adubação única com esterco. **Etapla 3:** A mineralização do esterco foi estimada por três métodos: emissão em de C-CO₂ em campo, incubação de solo em laboratório e perda de matéria seca em bolsas de rede plástica. O C-CO₂ emitido na superfície do solo foi capturado com solução de NaOH, utilizando câmaras acondicionadas na superfície do solo, em parcelas sem e com (11 t ha⁻¹) aplicação de esterco. Em laboratório foi feita a incubação de solo com adição de esterco (11 t ha⁻¹), combinado ou não com sulfato de amônio (60 kg N ha⁻¹), em recipientes de 2000 ml hermeticamente fechados contendo NaOH para captura do CO₂, durante 180 dias. As bolsas de decomposição com adição de esterco (11 t ha⁻¹) com e sem sulfato de amônio (60 kg N ha⁻¹), enterradas a 15 cm de profundidade, foram acompanhadas durante 110 dias. A decomposição do esterco, aplicado isoladamente, estimado via emissão de C-CO₂ em campo foi inferior a 5%. No ensaio de laboratório a decomposição, estimada pelo acumulado de C-CO₂ emitido, foi muito baixa, 5 e 3,5 % para o esterco aplicado isoladamente e com sulfato de amônio, respectivamente, em 180 dias de incubação. A aplicação de esterco combinado com N mineral apresentou menor

emissão de C-CO₂ comparado com aplicação isolada. As perdas de matéria orgânica do esterco das bolsas plásticas foram de 41 e 51 % nas parcelas sem e com aplicação de N mineral, respectivamente. Acredita-se que a lenta decomposição do esterco foi determinada pela sua alta relação C/N (38) e alto teor de lignina (14 %).

A quantidade de esterco habitualmente utilizada pelos produtores é excessiva, o que favorece a translocação de nutrientes para camadas mais profundas, representando prejuízo econômico e possível risco ambiental. Os resultados obtidos nos ensaios de decomposição e de produção de batata indicam que o esterco não é uma fonte imediata de N e sua aplicação deve ser acompanhada de fontes mais ricas nesse nutriente e de liberação mais rápida. O efeito residual do adubo aplicado foi expressivo para a cultura do milheto cultivado em sucessão, pois o mesmo recuperou grande parte do N mineral adicionado à batatinha e mostrou ser uma alternativa como forrageira em condições de semi-árido.

Palavras chaves: *Solanum tuberosum*, agricultura familiar, esterco, ¹⁵N, lixiviação de nutrientes, decomposição.

ORGANIC AND INORGANIC FERTILIZATION OF POTATO IN SANDY SOILS: PRODUCTIVITY, DYNAMICS OF ORGANIC MATTER AND NUTRIENTS

Fabio Freire de Oliveira

SUMMARY

The general objective was to study the relationships of organic and inorganic fertilizations of potato with productivity, plant nutrition and dynamics of organic matter and nutrients in the sandy soils cultivated with potato. The study was divided into three stages, each with its specific objectives and methodologies. **Stage 1:** The relationships of nutrient contents in soils fertilized with organic and inorganic sources with nutrient contents and productivities of potato, in addition, to the relationships of applications and the leaching of N and exchangeable bases were determined. Soil samples were collected from the 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers in 18 areas of potato production receiving annual additions of farm yard manure for the last 2 to 40 years and, as control, four areas under non-fertilized pasture. Soil and plant samples were analyzed for N, P, K, Ca and Mg concentrations. The yield of large tubers had a positive relationship with the input of N, while total yields related with total soil N. Only Ca in the soil correlated with the Ca levels in the plant, but not with productivity. Exchangeable bases increased in the three soil layers following increases in applied manure, while total soil N increased only in the 0-20 and 20-40 cm layers. **STAGE 2:** The objective of this study was to determine the efficiency of ammonium sulphate combined with farm yard manure (FYM) added to a potato crop as well as its residual effect on the following millet's crop. A field experiment in an Alfisol was carried out to compare the combination of 16 t ha⁻¹ FYM + 80 kg ha⁻¹ of mineral N, rates most frequently used in the region, with rates of 11 t ha⁻¹ of FYM combined with 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ of N in single or split applications. The ammonium sulphate was enriched in ¹⁵N (2.5% ¹⁵N abundance). The dry weights of potatoes and of millet aboveground material was determined as well as the N isotopic composition of both materials. Fertilization using the traditional rate proved to be excessive for this soil, since crop yields were not reduced when smaller rates of 11 t ha⁻¹ combined with 40 kg ha⁻¹ were used. However, lower yields were obtained with applications of FYM alone. **STAGE 3:** The mineralization of FYM was estimated by three methods: C-CO₂ emission in the field, laboratory soil incubation and weight loss in litterbags. The C-CO₂ flux at the soil surface of field plots receiving 11 t ha⁻¹ FYM or not, was captured in NaOH traps placed inside inverted buckets on the soil surface. In the laboratory, soil samples receiving additions equivalent to 11 t ha⁻¹ of FYM, combined or not with 60 kg N ha⁻¹, were incubated during 180 days in tightly closed 2000 mL jars containing a NaOH trap to capture CO₂. The weight loss of FYM samples placed inside litterbags and buried at a 15 cm depth in the soil, in plots where 16 t ha⁻¹ of FYM combined or not with ammonium sulphate (60 kg N ha⁻¹) had been applied, was monitored during 110 days. The field decomposition measured by CO₂ emission was slow (<5%). The decomposition in the laboratory was also very low, 5 and 3,5% for FYM applied alone and with ammonium sulfate, respectively. Dry matter losses in the litterbags were much higher, being greater in plots that had received mineral N (51%) than in unfertilized ones (41%). We interpreted the slow FYM decomposition rates as consequence its wide C/N ratio (38:1) and relatively high lignin content (14 %).

The amount of FYM commonly used by producers is excessive, which favors translocation of nutrients to deeper soil layers, representing economic loss and possible environmental risk. The results obtained during the decomposition and potato production experiments indicate that FYM is not an immediate source of N and its application must be accompanied by that of richer and quicker releasing sources. There was a marked residual effect of the fertilizer applied for the potato on the millet grown in succession, which recovered much of the added mineral N and proved to be a good alternative as a forage crop under the prevailing semi-arid conditions.

Key words: *Solanum tuberosum*, subsistence agriculture, manure, ¹⁵N, leaching, decomposition.

INTRODUÇÃO

A meso-região do Brejo Paraibano tem peculiaridades climáticas bem distintas da maior parte do Nordeste, ou seja, temperaturas amenas e alto índice pluviométrico durante alguns meses do ano, estas particularidades são responsáveis pela entrada da bataticultura na região. O município de Esperança é o principal centro de produção, tendo a batatinha e a erva doce como as culturas que oferecem maior viabilidade econômica (Sabourin et al., 2000).

Os solos utilizados para produção de batatinha são quase que em sua totalidade classificados como Neossolos Regolíticos, muito arenosos e com baixa fertilidade natural, e necessitam de aplicação de adubo para alcançar produções satisfatórias. Como os produtores são descapitalizados, sem condições de adquirir as quantidades necessárias de fertilizantes, a adubação limita-se quase sempre à aplicação de esterco bovino e fertilizante nitrogenado, aplicados de forma empírica (Galvão et al., 2008).

O esterco é a principal fonte de nutrientes, principalmente N e P, e de matéria orgânica nas áreas de produção de batatinha ou de culturas de subsistência, no agreste e semi-árido nordestino (Menezes & Salcedo, 2007) com aplicação média anual de 16 t ha⁻¹. O esterco aplicado, normalmente, em quantidades muito elevadas, que podem resultar em acúmulo de P e outros nutrientes na superfície do solo (Silva e Menezes, 2007; Sharpley et al., 2004), deslocamento para camadas mais profundas (Galvão et al., 2008) e perda de nutrientes (Siddique et al., 2000; Akhtar et al., 2005).

Normalmente, a entrada de P via esterco excede as exigências das culturas, tendo em vista que a dose aplicada baseia-se na necessidade de N (Akhtar et al., 2005) e que a planta absorve numa relação N/P muito mais ampla que a relação encontrada nos estercos. Por esse motivo, o P disponível até 60 cm de profundidade nesses solos, apresentou acréscimo em mais de 20 vezes em relação a áreas testemunhas de pastagem que não recebiam esterco, além de acréscimos significativos no conteúdo de P_{tot} (Galvão et al., 2008). Estes resultados constituem um cenário preocupante tanto do ponto de vista econômico, por ser o esterco um insumo limitado e muitas vezes obtido externamente à propriedade (Garrido et al., 2008), quanto do ambiental, por conta da possibilidade de poluição dos reservatórios de água das propriedades rurais e do aumento da emissão de CO₂.

O esterco é a única fonte externa de P nesses solos. Baseados nessa premissa Galvão et al (2008) consideraram que o aumento nos teores P_{total} nas áreas adubadas,

em relação a testemunhas que não receberam esterco, era reflexo do histórico de entrada de esterco, considerando que é nutriente de baixa mobilidade no solo (Raij, 1991). Os teores de P_{total}, por representarem aplicações de quantidades variadas de esterco, tiveram relação positiva com as quantidades de N e bases trocáveis na camada de 0-20 cm (Galvão et al, 2008), podendo também estar relacionados com o movimento desses elemento para camadas mais profundas.

Além das alterações nas concentrações dos nutrientes no solo é importante também correlacioná-los com seu aproveitamento pelas plantas, pois a nutrição da planta é o objetivo principal do manejo do solo. Nesse contexto, informações sobre a relação entre os teores de nutriente no solo e os teores na planta, além do desempenho da cultura, são de grande importância para tomada de decisões corretas quanto à aplicação de N mineral e esterco.

A adubação nitrogenada, de forma geral, tem eficiência próxima a 50%, sendo que nessas áreas a textura favorece maiores perdas de N, devido a sua baixa quantidade de matéria orgânica e baixa capacidade de troca de cátions, sendo esse problema agravado pelo não parcelamento na aplicação do adubo (Oliveira e Salcedo, 2008).

O uso de adubos marcados com ¹⁵N é uma ferramenta importante para quantificar a eficiência da adubação mineral nitrogenada (Máximo, 2005), bem como perdas e recuperação em camadas mais profundas (Lange et al, 2008), possibilitando quantificar a eficiência real da adubação empregada e, conseqüentemente, modificar o manejo dessa fonte com maior precisão.

O conhecimento da decomposição do esterco possibilita estimar sua contribuição ao fornecimento de nutrientes, ao longo do tempo, tendo em vista que é um material de constituição muito variável e, conseqüentemente, com distintas taxas de mineralização. Vários parâmetros têm sido utilizados para prever a decomposição de resíduos vegetais e de esterco: teores de N, C, lignina, hemicelulose e polifenóis e relações C/N e lignina/N. No entanto, dados de incubação em laboratório e/ou mineralização in-situ apresentam resultados mais reais (Van Kessel & Reeves III, 2002), devido à interação com os fatores ambientais que interferem na mineralização, como pH, temperatura, umidade e características intrínsecas de cada solo.

O objetivo desse trabalho foi estudar a relação da adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos, com ênfase na produtividade, nutrição da planta e dinâmica da matéria orgânica e nutriente do solo.

REFERÊNCIAS

- AKHTAR, M.; McCALLISTER, D. L.; FRANCIS, D. D. and SCHEPERS, J. S. Manure source effects on soil phosphorus fractions and their distribution. **Soil science**, 170: 1873-190, 2005.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. & OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.43, n.12, p.99-105. 2008.
- GARRIDO, M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B; MENEZES, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B; SALCEDO, I.H. (Org.), **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Editora Universitária, UFPE, Recife, p.123-140, 2008.
- LANGE, A.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema de semeadura direta. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.43, n.1, p.123-130, jan. 2008.
- MAXIMO, E.; BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C.; ROSSETE, A. L. R.; OLIVEIRA, C. R.; PRESTES, C. V. Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S . **Química nova**, vol.28, n.2, p.211-216, 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 ambiental**, v.11, n.4, p.361–367, 2007.
- OLIVEIRA, F. F., SALCEDO, I. H. Diagnóstico da fertilidade do solo das áreas cultivadas com batatinha (*Solanum tuberosum*) no município de Esperança-PB In: **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido** ,Editora Universitária, UFPE, Recife, p. 167-182, 2008.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.
- SABOURIN, E.; SILVEIRA, L.M.; TONNEAU, J.P.; SIDERSKY, P. **Fertilidade e agricultura familiar no Agreste Paraibano: um estudo sobre o manejo da biomassa**. Esperança: Cirad-Terra/ASPTA, 59p, 2000.
- SHARPLEY, A.N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN, J.A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. **Soil science society of America journal**, v.68, p.2048-2057, 2004.

- SIDDIQUE, M T, ROBINSON, J. & ALLOWAY, B. J. Phosphorus reactions and leaching potential in soils amended with sewage sludge. **Journal environmental quality**, 29: 1931-1938, 2000.
- 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, crotalária juncea. I – produtividade vegetal e estoque de nutrientes em longo prazo. **Revista brasileira de ciência do solo**. v. 31, p. 39 – 49, 2007.
- VAN KESSEL, J.S.; REEVES, J.B. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. **Biology and fertility of soils**, 36:118-123. 2002.
- 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 of the Association of Official Agricultural Chemists**, v.46, p.829-835, 1963.

CAPÍTULO I

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E INORGÂNICA DE BATATINHA EM SOLOS ARENOSOS: PRODUTIVIDADE, NUTRIENTES NA PLANTA E LIXIVIAÇÃO

RESUMO - As relações entre os teores de nutrientes em solos com adubação orgânica e inorgânica e os teores de nutrientes e produtividade de batatinha foram determinadas, assim como, as relações entre aportes e a lixiviação de N e bases trocáveis. Foram coletadas amostras de solo das camadas de 0–20, 20–40 e 40–60 cm em 18 áreas de produção com adições anuais de esterco variando entre 2 e 40 anos e, como controle, quatro áreas sob pastagem não adubadas. Amostras de solo e planta foram analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca e Mg. A produtividade de batatas grandes teve relação positiva com a entrada de N e produtividade total com N total no solo. Somente o Ca no solo correlacionou-se com os teores na planta, mais não com a produtividade. As bases trocáveis tiveram aumento nas três camadas de acordo com o aumento do esterco aplicado, enquanto o N total só teve aumento nas de 0-20 e 20-40 cm. A translocação de nutrientes para camadas mais profundas representa prejuízo econômico e possível risco ambiental.

Termos para indexação: *Solanum tuberosum*, esterco, lixiviação.

Organic and inorganic fertilization of potato in sandy soils: productivity, nutrients in the plant and leaching.

SUMMARY - The relationships between the nutrient content in soils fertilized with organic and inorganic sources, and the nutrient contents and productivities of potato, in addition, to the relationships of applications and the leaching of N and exchangeable bases. Soil samples were collected from the 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers in 18 areas of potato production receiving annual additions of farm yard manure for the last 2 to 40 years and, as control, four areas under non-fertilized pasture. Soil and plant samples were analyzed for N, P, K, Ca and Mg concentrations. The yield of large tubers had a positive relationship with the input of N while total yields related with total soil N. Only Ca in the soil correlated with the levels in the plant, but not with productivity. Exchangeable bases increased in the three layers following increases in applied manure, while total soil N increased only in the 0-20 and 20-40 cm layers. The translocation of nutrients to deeper layers represents economic loss and possible environmental risk.

Index terms: *Solanum tuberosum*, manure, lixiviation.

INTRODUÇÃO

A meso-região do Brejo Paraibano tem peculiaridades climáticas bem distintas da maior parte no Nordeste, com temperaturas amenas e alto índice pluviométrico durante alguns meses do ano, sendo essas particularidades responsáveis pela entrada da bataticultura na região. O município de Esperança é o principal centro de produção, tendo a batatinha e a erva doce como as culturas que oferecem maior viabilidade econômica (Sabourin et al., 2000).

Os solos utilizados para produção de batatinha são quase que em sua totalidade classificados como Neossolos Regolíticos, muito arenosos e com baixa fertilidade natural, e necessitam de aplicação de adubo para alcançar produções satisfatórias. Como os produtores são descapitalizados, sem condições de adquirir as quantidades necessárias de fertilizantes, a adubação limita-se quase sempre à aplicação de esterco bovino e, ocasionalmente, fertilizante nitrogenado (Galvão et al., 2008).

O esterco é a principal fonte de nutrientes, principalmente N e P, e de matéria orgânica nas áreas de produção de batatinha ou de culturas de subsistência, no agreste e semi-árido nordestino (Menezes & Salcedo, 2007) com aplicação média anual de 16 t ha⁻¹. O esterco é utilizado de forma empírica, ocorrendo normalmente adição de quantidades muito elevadas dessa fonte, que pode resultar em acúmulo de P e outros nutrientes na superfície do solo (Silva et al, 2007; Sharpley et al., 2004), deslocamento para camadas mais profundas (Galvão et al., 2008) e perda de nutrientes (Siddique et al, 2000; Akhtar et al., 2005).

Normalmente, a entrada de P via esterco excede as exigências das culturas, tendo em vista que a dose aplicada baseia-se na necessidade de N (Akhtar et al., 2005) e que a planta absorve numa relação N/P muito mais ampla que a relação encontrada nos estercos. Por esse motivo o P disponível até 60 cm de profundidade nesses solos, apresentou acréscimo em mais de 20 vezes em relação às áreas testemunhas de pastagem que não recebiam esterco, além de acréscimos significativos no conteúdo de P total (Galvão et al., 2008). Estes resultados constituem um cenário preocupante tanto do ponto de vista econômico, por ser o esterco um insumo limitado e muitas vezes obtido externamente à propriedade (Garrido et al., 2008), quanto do ambiental, por conta da possibilidade de poluição dos reservatórios de água das propriedades rurais e do aumento da emissão de CO₂.

Por tratar-se de região com solos de características relativamente homogêneas, com predomínio da fração areia e muito deficientes em P quando não adubados, Galvão et al. (2008) consideraram que os acréscimos em P_{tot} em relação a áreas não adubadas refletiam de forma aproximada o histórico de aplicação de esterco, por tratar-se de um nutriente relativamente pouco móvel. A relação entre adições de esterco e aumentos no teor total de nutrientes também foi observada para o nitrogênio orgânico total (N_{tot}) e bases trocáveis (Galvão et al., 2008). Entretanto, nesse estudo, a relação entre aportes e retirada de nutrientes pelas plantas foi baseada em uma estimativa média de produtividade e de conteúdo de nutrientes na batatinha, portanto, sem condições de avaliar a relação entre nutrientes disponíveis e desempenho da cultura.

Assim, um dos objetivos do presente trabalho foi estudar a relação dos macronutrientes disponíveis no solo com os teores na planta e com a produtividade, enquanto o segundo objetivo foi avaliar a relação entre a quantidade de esterco aplicada, representada por faixas de P total, e o deslocamento em profundidade das bases trocáveis e do N_{tot} em áreas adubadas com esterco.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidas 22 propriedades de agricultura familiar do município de Esperança, no Agreste da Paraíba, localizadas entre as latitudes 6°58'08'' S a 6°59'38'' S e entre as longitudes 35°51'30'' W e 35°52'30'' W. Nestas propriedades há pequenas áreas cultivadas com batatinha (*Solanum tuberosum* L.) e erva-doce (*Pimpinella anisum* L.) consorciadas, considerados cultivos mercantis da região, além de roçados tradicionais de milho (*Zea mays* L.), feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão de corda (*Vigna unguiculata* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e fava (*Vicia faba* L.) (Sabourin et al., 2000). O solo dominante nas áreas amostradas é o Neossolo Regolítico eutrófico (Embrapa, 1997), de textura arenosa a arenosa-franca com relevo ondulado a suave-ondulado. A pluviosidade média anual é de 800 mm com regime de chuvas unimodal distribuídas entre os meses de março a agosto, embora tanto a média anual quanto sua distribuição podem ser muito variáveis (Sabourin et al., 2000).

Pelos históricos levantados junto aos produtores, das 22 áreas amostradas, 18 estavam, ou estiveram, com cultivo de batatinha e erva-doce, recebendo aplicações anuais de esterco, enquanto quatro, com pastagens, não haviam sido adubadas nos últimos dez anos. Das áreas adubadas, 14 foram adubadas entre 15 e 40 anos e quatro durante menos de seis anos. As quantidades anuais de esterco curtido aplicadas

variaram entre 4 e 28 t ha⁻¹. O esterco utilizado apresenta a seguinte composição química: 1,0% de N, 0,3% de P e 1,0% K, com 85% de matéria seca, (valores médios de nove amostras coletadas com os produtores, Galvão et al., 2008).

Em cada área foram coletadas dez amostras simples de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, nas linhas de plantio, em transecto cruzando a área. Nas amostras compostas de solo foram determinados o pH em água (1:2,5), os teores de P e K extraíveis com Mehlich-1 e quantificados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Os teores de Ca e Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997). Uma subamostra foi passada em peneira de 0,015 mm para análise de C orgânico total (COT) por oxidação úmida (Embrapa, 1997 pelo método de Kjeldahl por destilação com arraste a vapor (Bremner & Mulvaney, 1982). O P_{tot} foi quantificado, após digestão com uma mistura de H₂SO₄ concentrado e H₂O₂, por colorimetria.

Em 12 áreas que se encontravam com cultivo de batatinha, durante a amostragem de solo, foram amostrados folíolos, 60 dias após plantio, e acompanhado o rendimento por área.

Os teores de P total na profundidade de 0-20 cm foram utilizados como base para fazer inferências sobre os demais nutrientes, devido a sua menor mobilidade, baixos teores em áreas sem aplicação de esterco (Galvão et al, 2008) e por ter, nelas, o esterco como única fonte desse elemento. Para isso, esses teores foram divididos em quatro faixas, sendo a faixa 1 (P_{tot} <110 mg kg⁻¹) constituída das quatro áreas não adubadas, enquanto das adubadas, nove ficaram distribuídas na faixa 2 (P_{tot} = 111– 220 mg kg⁻¹), cinco na faixa 3 (P_{tot} = 221–330 mg kg⁻¹) e quatro na faixa 4 (P_{tot} = 331–440 mg kg⁻¹).

Para diagnose dos teores de nutrientes na planta foram coletados folíolos do terço médio da planta, aos 60 dias após plantio, que foram secos em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C, moídos e digeridos com uma mistura de H₂SO₄ concentrado e H₂O₂ (Thomas et al., 1967) para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca e Mg. Após digestão, as metodologias de análise foram as mesmas usadas para amostras de solos.

A batata colhida foi separada em duas classes, uma de tamanho comercial ($\varnothing$ >8 cm) e outra de tubérculos pequenos, de acordo com a seleção efetuada pelos produtores.

A relação entre os diversos atributos de solo e planta e da produtividade foi avaliada por análise de regressão. As diferenças entre as quatro faixas de P_{tot} na profundidade de 0-20 cm em relação aos teores de N, K, Ca e Mg, nas camadas de 0–20, 20–40 e 40–60 cm, foram submetidas à análise de variância para cada profundidade, e as médias comparadas pelo teste HSD Tukey, a 5% de probabilidade, para número desigual de repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química de amostras de solo, coletadas de 0-20 cm, revelou níveis altos de P, K, Ca e Mg na maioria das áreas cultivadas (Tabela 1). O COT e o N_{tot} do solo tiveram acréscimo de mais de 100% em algumas áreas que vinham recebendo esterco, comparadas com áreas de pastagem sem uso de esterco, concordando com trabalhos que mostraram incremento na MOS em áreas com utilização de esterco e/ou outros resíduos orgânicos (Erich et al, 2002; Mitchell & Tu, 2006; Galvão et al., 2008) e, conseqüentemente, melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Bayer & Mielenz, 1999). Em comparação com as áreas não adubadas com esterco, o aumento no C_{tot} foi significativo. No entanto, as amostras apresentaram níveis considerados baixos, próximos a 10 g kg⁻¹.

Tabela 1: Atributos de amostras de solo coletadas de 0-20 cm em 22 áreas de produção de batatinha, adubadas com esterco, e em áreas de pastagem sem uso de esterco, no município de Esperança-PB.

Área	Cultivo	Adubação	Ptot	Ntot	COT	Pmelich	K	Ca	Mg
		esterco	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		
1	Pastagem	não	66,5	0,25	2,7	2,8	0,34	0,47	0,17
2	Pastagem	não	110	0,46	5,9	8,3	0,12	0,89	0,25
3	Pastagem	não	78	0,29	3,2	1,4	0,20	0,70	0,23
4	Pastagem	não	88	0,30	3,7	2,5	0,14	0,73	0,27
5	Pousio	sim	173	0,54	5,9	45	0,35	1,62	0,81
6	Pousio	sim	171	0,49	4,9	75	0,37	1,82	0,60
7	Batata	sim	212	0,53	5,9	72	0,24	2,19	0,91
8	Batata	sim	182	0,55	5,8	37	0,15	1,70	0,76
9	Pousio	sim	194	0,46	5,0	47	0,17	1,92	0,48
10	Pousio	sim	203	0,63	6,5	35	0,21	2,12	0,81
11	Pousio	sim	127	0,53	5,3	20	0,10	1,55	0,36
12	Pousio	sim	216	0,54	6,2	49	0,44	2,21	0,59
13	Batata	sim	176	0,70	8,5	167	0,39	1,96	0,83

14	Batata	sim	231	1,12	6,2	47	0,29	1,87	0,88
15	Batata	sim	302	1,20	9,4	117	0,39	1,78	0,69
16	Batata	sim	287	1,04	12,4	74	0,45	1,51	0,72
17	Batata	sim	258	0,92	10,9	76	0,30	1,54	0,77
18	Batata	sim	279	1,33	9,8	96	0,56	1,70	0,61
19	Batata	sim	393	0,63	6,3	139	0,18	2,34	1,12
20	Batata	sim	341	0,85	8,1	62	0,33	1,57	0,75
21	Batata	sim	351	0,95	11,4	187	0,61	2,02	0,99
22	Batata	sim	354	1,15	8,8	85	0,43	1,21	0,44

A produtividade total da batatinha foi muito baixa na área 9 (1,87 t ha⁻¹) e alta (>10 t ha⁻¹) nas áreas 1 e 7, levando-se em consideração a média atual da região de 8 t ha⁻¹ (Tabela 2). Por tratar-se de áreas com características pedológicas e históricos de uso similares, essa variação foi atribuída à heterogeneidade nas quantidades de adubo solúvel e esterco aplicados ao longo do tempo, pois na área 9 a aplicação de esterco nos últimos 4 anos foi em média 4 t ha⁻¹ e sem nenhuma adição de N mineral.

Tabela 2: Produtividade tubérculos frescos e composição química de folíolo em 12 áreas, Esperança-PB.

Área	N	P	K	Ca	Mg	Produtividade
	g kg ⁻¹					t ha ⁻¹
1	39	4,2	65	26	6,3	10,5
2	44	2,6	41	20	8,6	2,9
3	52	4,5	48	18	6,3	3,9
4	48	4,4	53	14	5,6	4,3
5	41	2,8	47	31	8,6	4,4
6	50	2,7	66	27	9,4	5,9
7	34	4,3	45	33	9,6	10,6
8	38	2,7	47	39	8,6	6,8
9	32	2,1	49	34	7,8	1,9
10	39	3,8	55	26	9,5	9,1
11	44	3,1	38	30	9,6	8,1
12	39	2,6	43	31	8,7	6,9

A produtividade total relacionou-se significativamente (p<0,01) com os estoques de N_{tot} no solo, que variaram entre 1700 e 3600 kg ha⁻¹ de solo na camada de 0-20 cm (Figura 1), sendo que o valor inferior foi apresentado na área 9, que teve a menor aplicação de esterco, somente 4 t ha⁻¹ ano, segundo informação levantada com o produtor para os últimos anos 4 de cultivo.

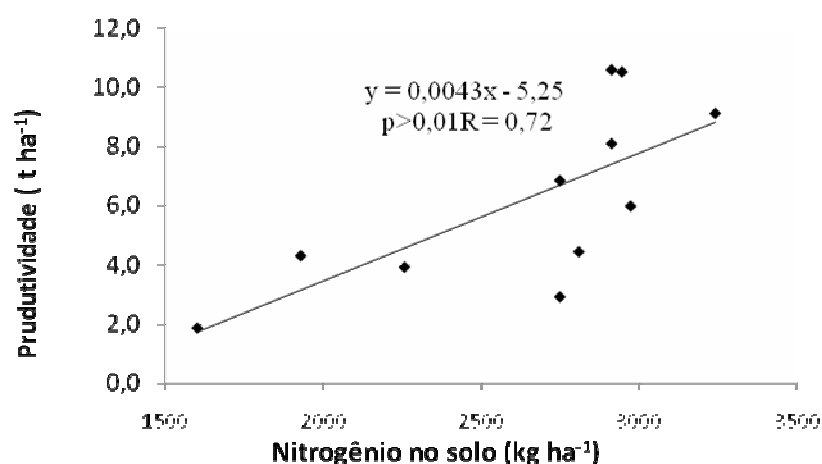


Figura 1: Relação entre estoque de N no solo e a produção de tubérculos de batatinha (Esperança, PB, safra 2005).

O teor de N no tecido vegetal variou de 32 a 52 g kg⁻¹ de matéria seca (Tabela 2) e não teve correlação com nenhum parâmetro no solo. A faixa de referência para condições ideais de nutrição da batatinha, descrita por Cantarutti et al (2007), é de 45 a 60 g kg⁻¹, e somente em metade das áreas os teores estiveram dentro dessa faixa. Isso indica que o manejo do N nas demais áreas não está atendendo a necessidade da cultura, podendo está ocorrendo falta desse nutriente durante no inicial do ciclo da cultura, devido a possível imobilização de N no na fase inicial pela adição do esterco. Silva e Meneses (2007) observaram aumento na disponibilidade de N, em solo similar adubado com esterco, somente após 60 dias de aplicação.

A produção de tubérculos com padrão comercial (batata grande) foi influenciada positivamente ($r=0,75$, $p<0,01$) pela quantidade de N aplicada (Figura 2). A quantidade de N aplicada foi obtida, considerando o somatório do aporte de N do esterco mais o N do adubo solúvel aplicado pelos produtores, que variou de 46 a 277 kg ha⁻¹ (Figura 2). Essa relação significativa sugere que a aplicação isolada de esterco não supre a demanda por N pela batatinha e, a essencialidade do uso do adubo solúvel nessas áreas, pois como a variação nas doses de esterco é pequena, em média 16 t ha⁻¹, o N da fonte mineral é responsável pelo acréscimo no aporte desse nutriente, e, consequentemente, nas melhores respostas de produtividade. Por outro lado, entradas altas de N conduzem a perdas desse nutriente, pois em algumas propriedades foram fornecidos quase 300 kg ha⁻¹ para uma retirada estimada em torno de 100 kg ha⁻¹ (Galvão et al., 2008), e o desbalanço entre entradas e saídas não se traduz no correspondente aumento do estoque de N no solo.

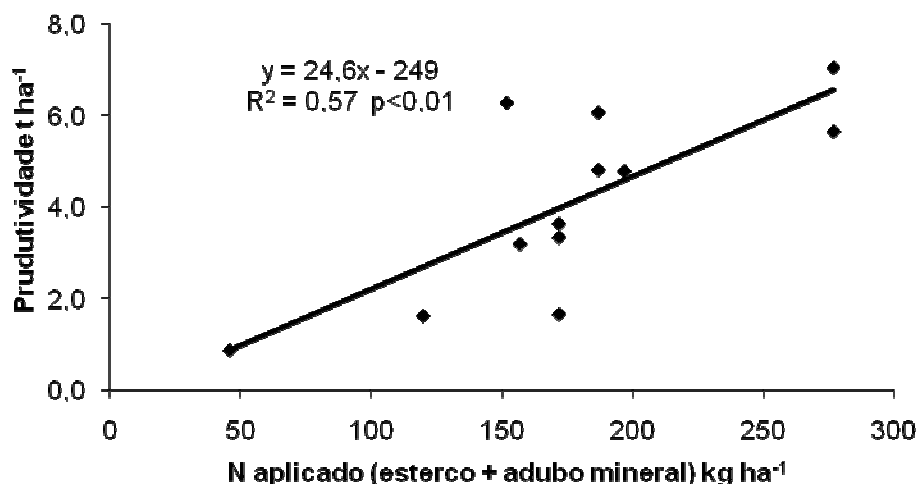


Figura 2: Relação entre a quantidade de N aplicada (esterco + adubo solúvel) e produtividade de tubérculos de batatinha com padrão comercial, em Esperança, PB.

Quando se analisa o histórico de longo prazo o efeito benéfico das adições de esterco é evidente pela correlação positiva entre teores de N no solo e aumento de produtividade. Por outro lado, quando se avalia a produção baseada na aplicação do último ano, percebe-se que não há relação entre a dose de esterco e a produção, sendo necessário, por esse motivo, incluir aportes de N de fontes solúveis.

A velocidade de decomposição do esterco e conseqüente liberação de N e outros nutrientes é muito variável e dependente de vários fatores intrínsecos ao esterco e às condições de clima e solo (Eghball, 2000; Griffin & Honeycutt, 2000), podendo não ocorrer sincronia com a demanda da planta. Dessa forma, aplicações de quantidades excessivas dessa fonte podem resultar em grandes perdas e consequentemente risco ambiental, além do prejuízo econômico.

A alternativa pode ser a utilização de menores quantidades de esterco com uma fonte de N mais lábil, seja adubo mineral ou um resíduo com relação C/N mais estreita, podendo disponibilizar nitrogênio de forma mais sincronizada com a necessidade da planta e evitando grandes aportes dos demais nutrientes.

Em todas as áreas, os teores de P e K extraíveis (Tabela 1) estiveram, em média, acima dos valores considerados altos para esses nutrientes (Paraíba, 1979), $>30 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo para o P e $> 117 \text{ mg kg}^{-1}$ para o K. Por esse motivo, ambos não apresentaram relação com a produtividade e nem com os teores determinados na planta. Os teores de P na planta variaram entre 2 e 4 g kg^{-1} , enquanto os de K entre oscilaram entre 38 e 65 g kg^{-1} .

kg⁻¹. De acordo com as faixas consideradas ideais para batatinha, os teores no folíolo de P (Cantarutti et al, 2007) e K (Cogo et al, 2006) estão em níveis adequados.

Os teores de Ca e Mg no solo foram altos, acima de 2 cmol_c kg⁻¹ para o somatório de Ca e Mg, quando o manual de adubação indica valores acima de 1 cmol_c kg⁻¹ como sendo altos (Paraíba, 1979). Como indicado anteriormente, esses teores elevados, assim como os de P e K, estão associados à aplicação continuada de esterco, ao longo dos anos. Os teores de Ca na planta apresentaram correlação com os teores no solo (Figura 3), no entanto não tiveram relação com os valores de produtividade, sugerindo consumo de luxo pela cultura. Já o Mg na planta não apresentou correlação com os teores no solo nem com a produtividade.

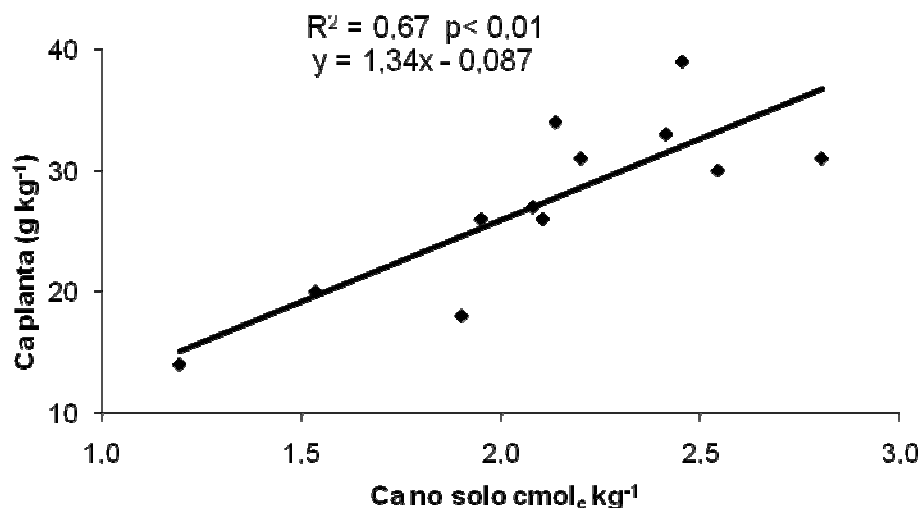


Figura 3: Correlação entre o teor de Ca no solo e o teor de Ca no tecido foliar em 12 áreas de cultivo de batata em Esperança-PB.

Deslocamento vertical de N e bases trocáveis

Nas áreas com maior entrada de esterco, representadas pelos maiores teores de P total na camada de 0-20 cm, constatarem-se aumentos correspondentes nos teores de N total no solo (Figura 4). O maior teor médio, encontrado nas amostras classificadas na faixa 4, foi de 1,1 g kg solo⁻¹, na camada de 0-20 cm. Assumindo-se densidade de solo média de 1,5 kg dm⁻³ para esses solos, o teor médio de N nessa faixa resulta em um estoque de 3300 kg ha⁻¹, enquanto nas áreas não adubadas o estoque foi em média de 975 kg ha⁻¹. Na camada de 20-40 cm também houve aumento significativo no teor de N nas áreas de maior entrada de esterco (Faixa 4 de P_{tot}) que foi o dobro do encontrado nas áreas da faixa de P_{tot} mais baixo, sem aplicação de esterco.

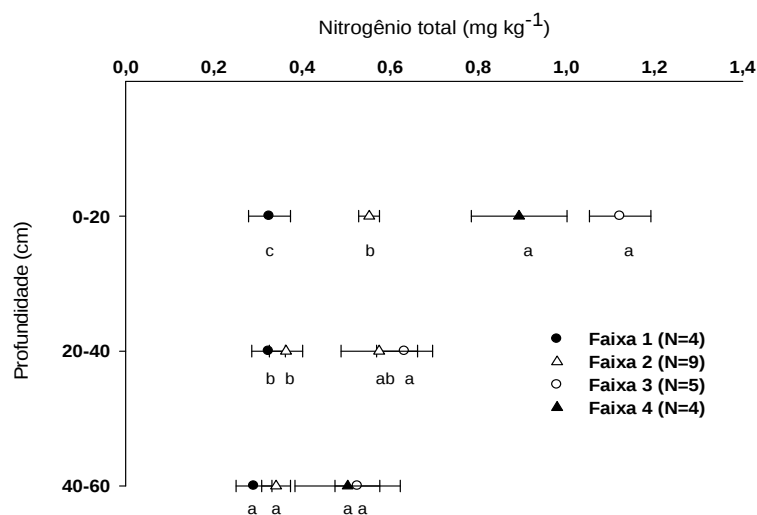


Figura 4. Teor médio e erro padrão de N total em amostras de solo agrupadas em quatro faixas, de acordo com o teor de P total na camada de 0–20 cm (faixa 1: <110; faixa 2: 111–220; faixa 3: 221–330; faixa 4: 331–440 mg kg⁻¹).

O incremento nos teores de N no solo na camada superficial (Figura 4), após aplicação de esterco é basicamente de formas orgânicas (Mitchell & Tu, 2006), seguindo o padrão de acúmulo de carbono (Galvão et al., 2008), tendo em vista que o N inorgânico é facilmente lixiviado devido à textura do solo, restando somente o N associado a matéria orgânica do solo (MOS). A formação de NO₃ que ocorre ao longo da transformação dessas estruturas orgânicas (Sommerfeldt, 1988), facilita o movimento no perfil junto ao fluxo de água, principalmente em solos de textura mais grosseira (Menezes e Salcedo, 2007). Formas orgânicas de nitrogênio também podem se mover no perfil do solo junto aos compostos orgânicos dissolvidos em água, mecanismo aumentado com as práticas que propiciam aumento de pH, como adição de carbonato de cálcio (Oliveira Junior, 2008). A aplicação continuada de esterco nessas áreas de cultivo de batatinha tem promovido acréscimo no pH, devido ao grande aporte de Ca, podendo também estar contribuindo para a lixiviação de N em formas orgânicas.

Nas três camadas de solo estudadas foi notável o aumento nos teores de K extraível por Melich-1, nas áreas com aplicação de esterco, sendo comprovada estatisticamente a diferença entre os teores nas 4 faixas de P_{tot} (Figura 5). Trabalhando com cama de aviário, Mitchell & Tu (2006) após 10 anos de aplicação de esterco em solo com textura leve, encontraram acréscimos nos teores de K, N, Ca e Mg, nos primeiros 20 cm do perfil.

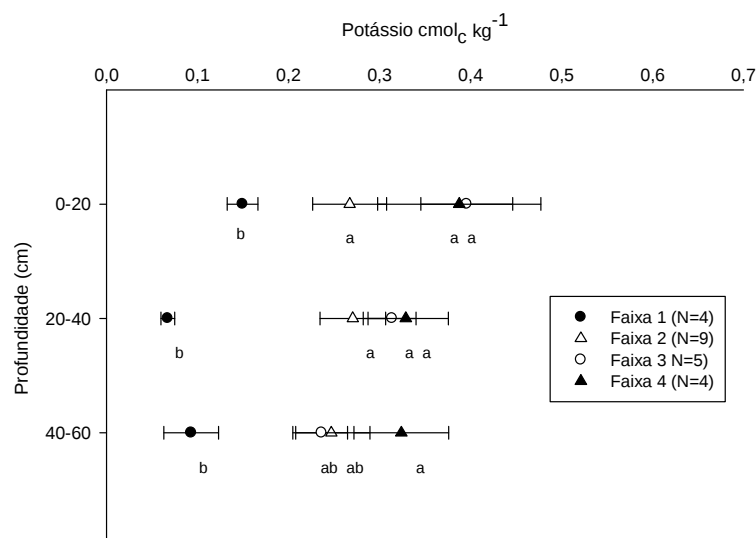


Figura 5. Teor médio e erro padrão de K disponível em amostras de solo agrupadas em quatro faixas, de acordo com o teor de P total na camada de 0–20 cm (faixa 1: <110; faixa 2: 111–220; faixa 3: 221–330; faixa 4: 331–440 mg kg⁻¹).

O potássio adicionado ao solo pelo esterco está todo em forma prontamente disponível, não faz parte de nenhum composto orgânico estável, sendo lavado para o solo facilmente pela água da chuva. No solo o K é bastante móvel e de fácil lixiviação, pois a sua interação com a parte mineral é apenas por ligações eletrostáticas (Ernani, 2007). A aplicação de 16 t ha⁻¹ de esterco resulta num aporte de 160 kg de K (Galvão et al., 2008), e as aplicações seguidas devem ter levado ao aumento de mais de 4 vezes nos teores de K na camada de 40-60 cm de profundidade, na faixa de P_{tot} correspondente às maiores aplicações de esterco, caracterizando um grande movimento de K⁺ no perfil do solo (Figura 5).

O maior acréscimo no K em relação ao nitrogênio na camada de 40-60 cm, mesmo sendo o nitrato mais móvel no solo, pode ser explicado pela imobilização que pode estar ocorrendo com o N pela biomassa microbiana e pela maior labilidade do K que do N no esterco, que retarda e diminui as perdas de N em relação ao K. Estimativas do balanço anual de nutrientes em batatinha (Galvão et al., 2008) sugerem que as perdas de N são menores que as de K.

De forma semelhante ao observado para o K, nas áreas adubadas com esterco, comparada as áreas sem aplicação, o aumento no teor de Ca e Mg foi, respectivamente, de 3 e 7 vezes na camada de 0 a 20 cm e de 4, 5 e 4,3 vezes na camada de 40 a 60 cm (Figura 6 e 7), indicando a ocorrência de grande movimento dessas bases no perfil do solo. O aumento no teor de Ca e Mg na camada superficial, até 20 cm, em solo com

aplicação de esterco foi mostrado em trabalhos com esterco bovino e caprino (Brouwer & Powell, 1995) e com cama de aviário (Mitchell & Tu, 2006). Nestes estudos, o aumento dos teores nas camadas mais profundas não foi perceptível, provavelmente pelo fato de que os dados são de áreas com 10 ou menos anos de aplicação de esterco.

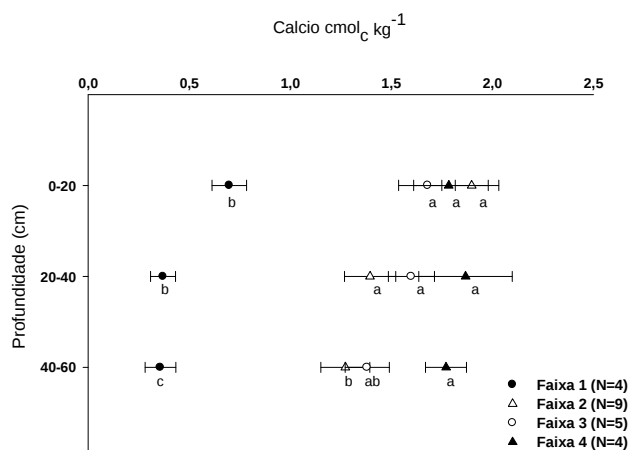


Figura 6. Teor médio e erro padrão de Ca disponível em amostras de solo agrupadas em quatro faixas, de acordo com o teor de P total na camada de 0–20 cm (faixa 1: <110; faixa 2: 111–220; faixa 3: 221–330; faixa 4: 331–440 mg kg⁻¹).

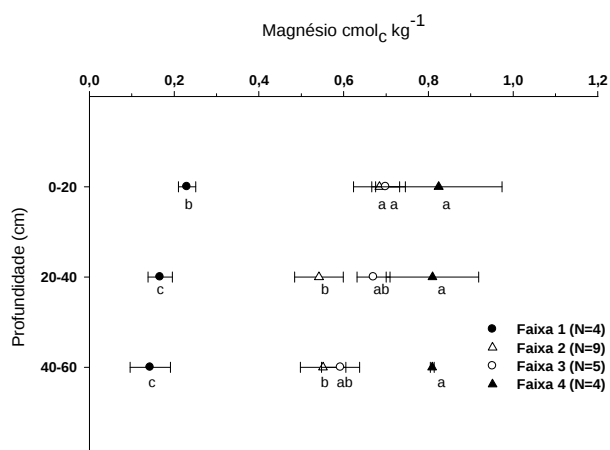


Figura 7. Teor médio e erro padrão de magnésio disponível em amostras de solo agrupadas em quatro faixas, de acordo com o teor de P total na camada de 0–20 cm (faixa 1: <110; faixa 2: 111–220; faixa 3: 221–330; faixa 4: 331–440 mg kg⁻¹).

A aplicação continuada de esterco leva a um aumento do pH (Sharpley & Moyer, 2000; Eghball, 2000; Galvão et al, 2008), que se relaciona com o movimento de Ca^{+2} no perfil do solo (Wadt & Wadt, 1999). Esse comportamento é viabilizado pela alta infiltração de água, pois trata-se de um solo com muita areia, e pela baixa CTC que não promove a adsorção desses cátions à fração mineral, o que reduziria a intensidade da translocação (Salcedo et al., 1988). O tempo de aplicação desse resíduo, que em algumas áreas supera os 40 anos, e a dose média de 16 t ha^{-1} , considerada alta em relação à extração das plantas cultivadas, estão determinando esse movimento e acúmulo de bases nessas áreas.

Este uso excessivo de esterco, com base na demanda de N, somente pode encontrar justificativa porque mantém ou promove aumento na matéria orgânica do solo, o que seria um efeito benéfico. Por outro lado, as doses que vem sendo adicionadas, com efeito acumulativo ao longo do tempo, determinaram entradas excessivas de outros nutrientes, com consumo de luxo no caso do Ca, e provocaram o deslocamento vertical dos mesmos. Considerando que este é um insumo de acesso limitado e que tem um custo considerável, conclui-se que é necessário racionalizar seu uso, provavelmente baseando as doses na demanda de P das culturas ao invés do N e complementado as necessidades de n com adubação inorgânica.

CONCLUSÕES

- 1 - Os aumentos em produtividade da batatinha dependem dos teores de N_{tot} do solo, acumulado ao longo dos anos, mas a produção de batata comercial depende da complementação do esterco com fertilizante mineral.
- 2 - A acumulação histórica de nutrientes via aportes de esterco determina aumentos nos teores em profundidade, indicando claramente a lixiviação de bases trocáveis, o que representa prejuízo econômico para os produtores, além de possível risco ambiental.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro (bolsa de doutorado e edital Universal); ao Laboratório de Fertilidade de Solo-DEN-UFPE pelo apoio em análises de solo e planta, ao Laboratório de Matéria orgânica-CCA-UFPB pelo apoio no preparo de amostras e análise de C_{tot} e aos produtores de batatinha de Esperança-PB por permitirem desenvolver esse trabalho em suas áreas de produção.

LITERATURA CITADA

- AKHTAR, M.; McCALLISTER, D. L.; FRANCIS, D.D. SCHEPERS, J. S. Manure source effects on soil phosphorus fractions and their distribution. **Soil science**, 170:187-190, 2005.
- BAYER, C & MIELNIKZUC, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 69-90, 1999.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: Page, A.L. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison: **American Society of Agronomy**, p.595-624, 1982.
- BROUWER, J., POWELL, J.M. Soil aspects of nutrient cycling in a manure experiment in Niger. In: POWELL, J.M. FERNANDEZ-RIVERA, S., WILLIAMS, T.O., RENARD, C. (Eds.). **Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa**. Vol II: Technical papers. Proc. of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22.-26. November 1993. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, pp. 211-226, 1995.
- CANTARUTTI, R.B. ; BARROS, N. F. ; NOVAIS, R. F. ; MARTINEZ, H.E.P. . Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F. DE; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.. (Org.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 769-850, 2007.
- COGO, C. M.; ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A.; GODOI, R. S.; BORTOLOTO, O. C.; LUZ, G. L. Relação potássio-nitrogênio para o diagnóstico e manejo nutricional da cultura da batata. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 41:1781-1786, 2006.
- EGHBALL, B. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. **Soil Sci. Soc. Am. J**, 64:2024-2030, 2000.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212p, 1997.
- ERICH, M.S.; FITZGERALD, C.B. & PORTER G.A. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. **Agriculture, ecosystems and environment**, 88:79-88, 2002.
- ERNANI, P. R. ; ALMEIDA, J.A. ; SANTOS, F. C. . Potássio. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L.. (Org.).

- Fertilidade do solo.** 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, , v. 1, p. 551-594, 2007.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. & OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 43:99-105, 2008.
- GARRIDO, M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B; MENEZES, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B; SALCEDO, I.H. (Org.), **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Editora Universitária, UFPE, Recife, p.123-140, 2008.
- GRIFFIN, T.S., & C.W. HONEYCUTT. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. **Soil science Society of America journal**, 64:1876-1882, 2000.
- PARAÍBA. **Manual de sugestão de adubação para o estado da Paraíba**. Primeira Aproximação, EMATER-PB, 105P, 1979.
- 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**, 11:361-367, 2007.
- MITCHELL, C.C.; TU, S. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. **Soil science society of America journal**, 70:146-2153, 2006.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; LIMA , J. M.; RANGEL, O. J. P. Formas e quantidades de carbono em lixiviados de latossolos vermelhos sob influência de calcário e fósforo. **Revista brasileira de ciência do solo**, 32:1261-1271, 2008.
- SABOURIN, E.; SILVEIRA, L.M.; TONNEAU, J.P.; SIDERSKY, P. **Fertilidade e agricultura familiar no Agreste Paraibano: um estudo sobre o manejo da biomassa**. Esperança: Cirad-Terra/ASPTA, 59p, 2000.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CARNEIRO, IV. Perdas de N por lixiviação em cana-planta fertilizada com uréia-15N. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 23:725-732, 1988.
- SHARPLEY, A.N. & MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. **Journal of Environmental Quality**, 29:1462-1469, 2000.

- SHARPLEY, A.N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN, J.A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. **Soil science society of America journal**, 68:2048-2057, 2004.
- SIDDIQUE, M T, ROBINSON, J. & ALLOWAY, B. J. Phosphorus reactions and leaching potential in soils amended with sewage sludge. **Journal environmental Quality**, 29:1931-1938, 2000.
- 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**, 31:39-49, 2007.
- SOMMERFELDT, T. G., CHANG, C. & ENTZ, T. Long-term Annual Manure Applications Increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. **Soil Science Society America Journal**, 52:1668-1672, 1988.
- THOMAS, R.L.; SHEARD, R.W.; MOYER, J.R. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digest. **Agronomy journal**, 59:240-243, 1967.
- WADT, P. G. S. & WADT, L. H. O. Movimento de cátions em amostras de um Latossolo vermelho-amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia agricola**, Suplemento, 56:1157-1164, 1999.

CAPÍTULO II

EFICIÊNCIA DE ADUBAÇÃO DE BATATINHA COM ESTERCO E N MINERAL (^{15}N) E EFEITO RESIDUAL NO CULTIVO DO MILHETO

RESUMO – Os solos arenosos utilizados para o cultivo da batatinha (*Solanum tuberosum*) no agreste da Paraíba têm baixo teor de N. Adubações anuais com esterco e N mineral, realizadas empiricamente, tem resultado na acumulação e perda de nutrientes do solo. Por esse motivo, objetivou-se determinar a eficiência do sulfato de amônio (^{15}N) mais esterco na adubação da batatinha e do efeito residual no milheto (*Pennisetum glaucum*) cultivado em seqüência. Em experimento de campo em Neossolo regolítico foi comparada a combinação de 16 t ha⁻¹ esterco + 80 kg ha⁻¹ de N, utilizada mais frequentemente na região, com doses de 11 t ha⁻¹ de esterco combinadas com 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N em doses únicas ou parceladas. A fonte de sulfato de amônio utilizado estava enriquecida em ^{15}N (2,5 % de abundância). Em todos os tratamentos avaliou-se a produção de matéria seca nos tubérculos e na parte aérea do milheto além da composição isotópica do N nesses materiais. A adubação com dose tradicional é excessiva neste solo, uma vez que a redução para 11 t ha⁻¹ esterco e 40 kg ha⁻¹ de N mineral não resultou em queda de produtividade das culturas; no entanto, houve queda no caso de adubação única com esterco. O milheto recuperou grande parte do N mineral adicionado à batatinha e mostrou ser uma alternativa como forrageira em condições de semi-árido.

Palavras-chave: agricultura familiar, *Solanum tuberosum*

SUMMARY - Fertilization efficiency of potato with farm yard manure plus fertilizer-N (^{15}N) and residual effect in a millet crop

Sandy soils cultivated with potato (*Solanum tuberosum*) in the Agreste da Paraíba have low N content. Annual additions of farm yard manure (FYM) and mineral N, defined on empirical basis, have resulted in the accumulation and loss of soil nutrients. Thus, the objective of this study was to determine the efficiency of ammonium sulphate combined with FYM added to a potato crop as well as its residual effect on the following millet's crop. A field experiment in an Alfisol was carried out to compare the combination of 16 t ha⁻¹ FYM + 80 kg ha⁻¹ of mineral N, rates most frequently used in the region, with rates of 11 t ha⁻¹ of FYM combined with 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ of N in single or split

applications. The ammonium sulphate was enriched in ^{15}N (2.5% ^{15}N abundance). The dry weights of potatoes and of millet aboveground material was determined as well as the N isotopic composition of both materials. Fertilization using the traditional rate proved to be excessive for this soil, since crop yields were not reduced when smaller rates of 11 t ha^{-1} combined with 40 kg ha^{-1} were used. However, lower yields were obtained with applications of manure alone. The millet recovered much of the mineral-N added to the potato and was a good alternative for forage production in the area.

Keywords: (subsistence agriculture, *Solanum tuberosum*)

INTRODUÇÃO

Os solos utilizados para produção de batatinha na região do brejo paraibano são muito arenosos e com baixa fertilidade natural, deficientes principalmente em N e P (Galvão et al, 2008), exigindo assim aplicação de fertilizantes. O esterco representa a principal entrada de nutrientes nessas áreas, com aplicações anuais em torno de 16 t ha^{-1} . Junto com o esterco, os produtores adicionam também N-fertilizante comercial (sulfato de amônio ou uréia) em dose equivalente a 80 kg ha^{-1} ou menor, em função da disponibilidade de recursos financeiros.

A textura desses solos favorece as perdas de N e outros nutrientes, que são reforçadas pelo baixo teor de matéria orgânica, baixa capacidade de adsorção de cátions, e pelo não parcelamento na aplicação do N-fertilizante. O manejo otimizado do esterco e fertilizantes nitrogenados são pontos cruciais para melhoria das condições de produção de batatinha nessas áreas.

O uso de adubos marcados com ^{15}N constitui-se uma ferramenta importante para quantificar a eficiência da adubação mineral nitrogenada (Máximo et al., 2005), bem como as perdas e a recuperação em camadas mais profundas (Lange et al., 2008), possibilitando o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de adubação nitrogenada. Além disso, é possível determinar quanto do fertilizante é recuperado por cultivos subseqüentes, determinando-se o efeito residual da adubação.

No Brejo paraibano que possui um curto período de chuva, o milheto é uma cultura interessante para o produtor que visa uma maior integração lavoura-pecuária, pela sua produção de forragem. Por ser uma cultura de ciclo curto, tolerante ao estresse hídrico e possuir sistema radicular que atinge camadas até 120 cm (Menezes et al., 1997), pode recuperar nutrientes lixiviados até camadas mais profundas nesses solos arenosos

Os objetivos desse trabalho foram quantificar a eficiência da adubação de batatinha com sulfato de amônio combinado com esterco, comparando-se as doses utilizadas normalmente na região com doses menores e parceladas no caso de N-fertilizante, e avaliar, também, o efeito residual no milho cultivado em seqüência.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área de produtor rural, que trabalha em sistema de agricultura familiar no município de Esperança, PB (06° 59' 07'' S e 35° 52' 14'' W), de abril a setembro de 2006, num Neossolo Regolítico com as seguintes características: C total: 11 g kg⁻¹; N total= 1,1 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 7,1; P (Mehlich-1) = 47 mg kg⁻¹; K (Mehlich-1) = 230 mg kg⁻¹; Al³⁺ = 0,0 cmol_c kg⁻¹; Ca e Mg trocáveis = 2,1 e 1,0 cmol_c kg⁻¹, respectivamente, determinados utilizando-se a metodologia da Embrapa (1999). O esterco usado no ensaio apresentou as seguintes características: C total 242 g kg⁻¹, N total, 6,5 g kg⁻¹, P total, 2,4 g kg⁻¹ e K total, 8,7 g kg⁻¹, analisados segundo Embrapa (1999), cinza, 47 % e lignina, 18 % (Van Soest, 1963). A precipitação pluviométrica durante o experimento foi a seguinte: 79, 56, 107, 46, 66 e 10 mm para os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, respectivamente. A batatinha foi plantada em 25 de abril e colhida em 12 de julho (78 dias). O milho foi plantado dia 2 de agosto e colhido dia 13 de setembro (42 dias).

O delineamento foi em blocos inteiramente casualizados com oito tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos utilizados no ensaio de campo com batatinha em um Neossolo Regolítico.

Tratamento	Esterco	N plantio	N cobertura
	t ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
1	16	80 *	0
2	11	40 *	0
3	11	40 *	40
4	11	40	40 *
5	11	40 *	40 *
6	11	20	20
7	11	0	0
8	11	80 *	0

*Sulfato de amônio com 2,5% de abundância de ¹⁵N.

As parcelas experimentais constituíram-se de seis fileiras com 5 m de comprimento, sendo a área útil os 12 m² centrais. Nessa área foi avaliada a produção de

matéria seca dos tubérculos e o teor de nitrogênio na planta. A batata, cultivar Monalisa, foi plantada em leirão com 0,8 m x 0,33 m entre linha e planta, respectivamente. A batata semente utilizada foi aquela que na safra anterior não se enquadrava no critério de seleção para comércio. Antes do plantio foi incorporado o esterco nas quantidades indicadas para cada tratamento (Tabela 1). A adubação nitrogenada foi feita de acordo com os tratamentos descritos na tabela 1, tendo como fonte o sulfato amônio (21% N). A adubação em aplicação única foi efetuada de forma localizada, planta por planta, assim que ocorreu a emergência das plântulas. Nos tratamentos com parcelamento, aplicou-se metade na emergência e a outra metade no momento da amontoa, 30 dias após plantio. O tratamento testemunha (16 t ha^{-1} de esterco + 80 kg ha^{-1} de N em dose única) foi baseado na dose média utilizada pelos produtores. A dose de esterco de 11 t ha^{-1} foi baseada na extração de K, que é o nutriente exigido em maior quantidade pela batatinha. Nessa dose de 11 t ha^{-1} foram adicionados 60,7, 22,4 e $81,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P e K, respectivamente.

Nas parcelas adubadas com nitrogênio, colocou-se uma subparcela com adubo marcado com ^{15}N , para quantificar o aproveitamento do N aplicado. O sulfato de amônio com abundância de 2,5 % átomos de ^{15}N foi aplicado em três plantas de cada subparcela, com as doses e forma de aplicação dos seus respectivos tratamentos. O tratamento com 80 kg ha^{-1} de N parcelado (40 kg na emergência + 40 kg na amontoa) foi repetido três vezes, para viabilizar a marcação com ^{15}N na primeira ou segunda aplicação e também nos dois momentos, para quantificar o aproveitamento do adubo de cada parcelamento e da dose completa.

Após a colheita da batatinha, 79 dias após o plantio, efetuou-se o plantio do milho, cultivar IPA BULK 1 BF, melhorada para condições de stress hídrico e baixa fertilidade (Tabosa et al, 1999). Entre linhas, usou-se o mesmo espaçamento da batata. Entre plantas foi feito um desbaste após a germinação, deixando 15 plantas por metro linear. O milho foi colhido 42 dias após plantio, sendo cortado rente ao chão, sendo coletadas amostras para estimar matéria seca e teor de N na parte aérea.

Nas subparcelas com adubo marcado com ^{15}N , coletaram-se tubérculos de batatinha e parte aérea de milho para quantificar o enriquecimento de ^{15}N por espectrometria de massa (Rennie & Paul, 1971). Foi calculada a percentagem de N derivado do fertilizante (%Nddf), a quantidade de N derivado do fertilizante (Qndf) e percentagem de N recuperado (Nrec).

Para analisar os resultados utilizou-se análise de variância dos contrastes ortogonais para as massas de tubérculo grande e total e matéria seca do milho, das variáveis Nddf, Qddf e Nrec, utilizando o programa estatístico SAS (SAS, 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades de tubérculo de batatinha (Tabela 2) foram superiores à média de 6 500 kg ha⁻¹, determinada em um levantamento junto a 14 produtores da região (Oliveira & Salcedo, 2008). A diminuição na dose de esterco, de 16 para 11 t ha⁻¹ não provocou redução na produtividade da batatinha e nem do milho (Tabela 3), indicando que a dose de 16 t ha⁻¹, normalmente aplicada na região é excessiva, pelo menos para os solos que vêm sendo habitualmente adubados com esterco, como é o caso do Neossolo Regolítico da área do experimento. O capital economizado com a redução na dose de esterco, considerando que a maioria dos produtores adquirem esse insumo fora da propriedade, representa a possibilidade de investimento em outros insumos visando otimizar a produção, como aquisição de batata semente certificada.

Tabela 2. Produtividade de tubérculo de batatinha e de matéria seca de milho, e retirada de N por ambas culturas, sob diferentes doses de esterco bovino e de sulfato de amônio.

Tratamento	Dose de esterco	Dose de Nitrogênio	Tubérculo ¹	N extraído	Milho ²	N extraído
	t ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
1	16	80u ³	11 630	43,6	5 923	157
2	11	40u	11 654	47,1	6 548	152
3	11	80p ⁴	12 128	46,3	5 640	163
4	11	80p	12 507	50,5	5 060	128
5	11	80p	11 749	43,6	5 804	152
6	11	40p	11 500	43,5	5 634	136
7	11	0	7 000	27,5	2 083	40
8	11	80u	11 630	45,1	4 911	118

¹ matéria fresca (22 % de matéria seca); ² matéria seca na parte aérea; ³u: Sulfato de amônia em dose única; ⁴p: Sulfato de amônia parcelado

A aplicação do sulfato de amônio, independente da dose e forma de aplicação, resultou sempre em maiores produtividades que o tratamento que não o recebeu (Tabela 3), o que mostra a dependência da batatinha na adição de fonte solúvel de N.

Tabela 3. Contrastes ortogonais estimados entre diferentes tratamentos para as variáveis produção de tubérculo grande, tubérculo total, em batatinha adubada com esterco e N mineral, e matéria seca do milho cultivado em seqüência.

Contrastes	Tubérculo grande	Tubérculo total	MS milho
	kg ha ⁻¹		
Esterco (11 x 16 t ha ⁻¹)	1327 ^{ns}	663 ^{ns}	253 ^{ns}
Np x sem N	5164**	5448**	886**
Np: 80 kg ha ⁻¹ x 40 kg ha ⁻¹	568 ^{ns}	1579 ^{ns}	-9,6 ^{ns}
Nu x sem N	4879**	4643**	1034**
Nu: 80 kg ha ⁻¹ x 40 kg ha ⁻¹	284 ^{ns}	379 ^{ns}	-372*
Np x Nu: 80 kg ha ⁻¹	284 ^{ns}	1011 ^{ns}	34,9 ^{ns}
Np x Nu: 40 kg ha ⁻¹	0,0 ^{ns}	189 ^{ns}	-327 ^{ns}

Np: Nitrogênio parcelado; Nu: Nitrogênio em dose única; MS: matéria seca; ns: não significativo; ** significativo a 1%; * significativo a 5 %.

A queda da produtividade da batatinha para 7 t ha⁻¹ quando adubada com esterco na ausência de sulfato de amônio (Tabela 2), indica que o esterco não é uma fonte imediata de N, devido a ampla relação C/N (48) e alto teor de lignina (18 %). Palm et al. (2001) consideraram que materiais com conteúdo de N < 25 g kg⁻¹ combinado com teor de lignina > 15 %, como é o caso do esterco utilizado no presente estudo, são de baixa qualidade no fornecimento de N. A ampla relação C/N mantém um ambiente de imobilização temporária do N do solo. Em experimento de incubação em laboratório, Menezes e Salcedo (2007) observaram imobilização líquida do N do solo com adição de esterco durante 56 dias após sua adição. A falta de sincronia entre a liberação do N do esterco e a demanda da cultura leva à deficiência de N e possivelmente outros nutrientes (Vanlauwe et al., 2005), principalmente na fase inicial do ciclo da cultura, uma vez que, na ausência de fonte solúvel de N, é a mineralização do N orgânico do solo que supre a demanda da cultura.. No entanto, as adições continuadas de esterco têm efeito acumulativo que melhora a fertilidade do solo, pelo aumento gradual da matéria orgânica e de outros nutrientes (Galvão et al., 2008). Na área do experimento, o solo apresentava um teor de 1,0 g kg⁻¹ de N enquanto solos da região, que não tinham sido adubados com esterco nos últimos 20 anos, apresentaram em média 0,33 g kg⁻¹ de N (Galvão et al., 2008).

A limitação da área disponível para o experimento impossibilitou estabelecer um arranjo fatorial completo das fontes de variação, faltando, entre outros, uma testemunha absoluta, sem nenhuma adição, o que não permitiu, no tratamento 7, separar a contribuição do N do solo do N do esterco (Tabela 2). Entretanto, dados de Silva et al. (2007), para essa mesma condição de solo e clima, indicaram uma produtividade

adicional de 2 t ha⁻¹ no tratamento com esterco em relação ao sem esterco, o que representou uma retirada ao redor de 4 kg de N da fonte esterco, menos de 7% do N aportado pelo esterco. Descontando-se esse valor estimado do N retirado pela planta no tratamento 7, o solo teria contribuído com 23,5 kg ha⁻¹ de N, que é equivalente à mineralização de 1,6 % do N total na camada de 0-20 cm em um período de 75 dias. Essa mineralização seria perfeitamente viável, considerando-se que é bem menor que a determinada no campo por Menezes & Salcedo (2007), de 70 kg ha⁻¹ de N na camada de 0-15 cm em solo semelhante, durante 120 dias.

A aplicação do N mineral parcelado não proporcionou ganhos de produtividade de tubérculos quando comparada com a aplicação em dose única (Tabela 3). Mesmo o solo sendo de textura arenosa, com alto potencial de lixiviação de N, o aproveitamento do N não foi mais eficiente quando parcelado.

O contraste entre doses de N (80 kg ha⁻¹ x 40 kg ha⁻¹) não foi significativo ($p < 0,05$) para produção de batatinha, mas o foi para a produtividade do milho cultivado em seqüência. O milho cultivado nas parcelas que receberam 80 kg ha⁻¹ de N apresentou ganhos na produtividade, favorecido pela manutenção de maiores quantidades de N no perfil. Também deve ter contribuído o sistema radicular com características de crescimento que permitem a exploração de camadas mais profundas (Menezes et al., 1997), uma vez que, neste solo arenoso, é provável que parte do N do fertilizante tenha deslocado em profundidade (Salcedo & Sampaio, 1984).

A quantidade de nitrogênio nos tubérculos da batatinha derivados do sulfato de amônio (Tabela 4, tratamentos 5 versus 8)) não foi alterada pelo parcelamento, quando contrastado com aplicação única (Tabela 5).

Tabela 4. Percentagem de N derivado do fertilizante (Nddf), quantidade de N derivado do fertilizante (Qndf) e N recuperado (Nrec) em batatinha adubada com esterco e N mineral e na matéria seca da parte aérea do milho cultivado em seqüência em um Neossolo Regolítico.

Trat	N mineral + Esterco	Batatinha			Milho			Nrec total
		Nddf	Qndf	Nrec	Nddf	Qndf	Nrec	
		%	kg ha ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	%	%
1	80 Nu + 16	35,1	16,6	20,8	15,2	21,1	26,3	47,1
2	40 Nu + 11	31,7	12,8	32,0	6,0	8,3	20,7	52,7
3	80 Np + 11 ¹	25,0	11,0	27,4	8,6	9,5	23,8	51,2
4	80 Np + 11 ²	5,7	2,4	6,1	13,6	20,2	50,5	56,6
5	80 Np + 11 ³	32,7	13,6	17,0	26,2	35,3	44,1	61,1
8	80 Nu + 11	37,7	16,2	20,4	17,9	27,0	33,8	54,2

1-adubo marcado com ^{15}N na primeira dose; 2- adubo marcado com ^{15}N na segunda dose; 3- adubo marcado com ^{15}N nas duas doses; Np: Nitrogênio parcelado; Nu: Nitrogênio em dose única. Tratamentos 6 e 7 não receberam adubo marcado com ^{15}N

Era esperado que a percentagem de N derivado do fertilizante (%Nddf) aumentasse com o parcelamento. Isto provavelmente não ocorreu porque o ciclo da batatinha foi mais curto em relação ao esperado e a data do parcelamento (30 dias) foi embasada em dados de outras condições climáticas, já que não existem dados de curva de crescimento para a região.

No tratamento 4 (80 kg ha^{-1} parcelado) que recebeu ^{15}N somente na segunda parcela da adubação, a recuperação de N pela batatinha foi muito baixa, pouco mais de 6% (Tabela 4), o que indica que após a segunda parcela a fase mais ativa de absorção de N pela batata tinha praticamente finalizado. O aproveitamento de N nutriente pelo milho, nesse tratamento, foi superior a 50%, pois, com o baixo aproveitamento pela batatinha, uma grande quantidade do adubo permaneceu no solo, sendo aproveitado pelo cultivo subsequente.

O milho atingiu níveis de produtividade de matéria seca acima de 5 t ha^{-1} , nos tratamentos em que foi feita adubação com fonte mineral de N (Tabela 2). Nas parcelas que não receberam N mineral sua produção foi reduzida em 63%, resultado do baixo estoque de N nesse solo em condições naturais, que também limitou a produção de batatinha.

A recuperação do N mineral pela batatinha, na dose 80 kg ha^{-1} parcelada ou não, foi em torno de 20% (Tabela 4), o que representa um baixo aproveitamento. A utilização do milho após cultivo da batatinha contribuiu para recuperar grande parte do N remanescente no solo, que somada à absorção pela batatinha atingiu médias de recuperação de N do fertilizante superiores a 50% em cinco dos seis tratamentos, chegando a 61% na dose de 80 kg ha^{-1} parcelada (Tabela 4). Este último valor supera a eficiência média da adubação nitrogenada, próxima a 50% (Cantarella, 2007).

Tabela 5. Contrastes ortogonais entre diferentes tratamentos para as variáveis N derivado do fertilizante (Nddf), quantidade de N derivado do fertilizante (Qndf) e N recuperado (Nrec), em batatinha adubada com esterco e N mineral e matéria seca do milho cultivado em seqüência em um Neossolo regolítico.

	Batata	Milho
--	--------	-------

Contrastes	Nddf	Qndf	Nrec	Nddf	Qndf	Nrec
	%	kg ha ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	%
Esterco (11 x 16 t ha ⁻¹)	2,6 ^{ns}	-0,4 ^{ns}	-0,5 ^{ns}	11,7**	11,7*	14,6 ^{ns}
Np x Nu	-5,0 ^{ns}	-2,6 ^{ns}	-3,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,8 ^{ns}
Nu: 80 kg ha ⁻¹ x 40 kg ha ⁻¹	5,9 ^{ns}	-1,8 ^{ns}	15,7**	-19,9**	-23,5**	-18,4 ^{ns}
N plantio x N cobertura	18,6**	8,8**	21,3**	-10,9**	-182**	-45,5**

Np: Nitrogênio parcelado; Nu: Nitrogênio em dose única; MF: matéria fresca; ns: não significativo; ** significativo a 1%; * significativo a 5 %.

Vale salientar que foi feita só uma capina durante o ciclo do milho e nenhuma adição de adubo, mostrando que o milho cultivado após a batatinha consegue recuperar grande quantidade do nitrogênio aplicado na cultura anterior e atingir alta produção, demandando baixos investimentos.

CONCLUSÕES

1. A combinação de 16 t ha⁻¹ de esterco com 80 kg ha⁻¹ de N mineral podem ser reduzidas para 11 t ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹, respectivamente, sem prejuízo da produtividade.
2. A complementação das adições de esterco com fontes de N mineral é necessária nos solos arenosos da região, para viabilizar produtividades economicamente compensadoras
3. O milho é uma alternativa muito promissora para aumentar a produção de biomassa vegetal, contribuindo para uma maior integração lavoura-pecuária e para melhorar a eficiência no uso de adubos nitrogenados

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Nildo Tabosa, pesquisador do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), pelo fornecimento da semente de milho e orientações sobre o manejo da cultura. Ao produtor Sr. Gilberto por ceder área para experimento de campo. Ao CNPq pelo apoio financeiro (Edital Universal e bolsa de doutorado).

LITERATURA CITADA

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.. (Org.). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:769-850, 2007.

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Brasileira. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 1999.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. & OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 43:99-105, 2008
- LANGE, A.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema de semeadura direta. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 43:123-130, 2008.
- MAXIMO, E.; BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C.; ROSSETTE, A. L. R.; OLIVEIRA, C. R.; PRESTES, C. V. Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S . Química nova, 28:211-216, 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, 11:361-367, 2007.
- MENEZES, R. S. C.; GASCHO, G. J. ; HANNA, W. W. ; CABRERA, M. L. ; HOOK, J. E. . Subsoil Nitrate uptake by grain Pearl Millet. Agronomy Journal, 89:189-194, 1997.
- OLIVEIRA, F. F. ; SALCEDO, I. H. . Diagnóstico da fertilidade do solo das áreas cultivadas com batatinha (*Solanum tuberosum*) no município de Esperança-PB. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. (Org.). Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife: Editora Universitária-UFPE, p. 167-182, 2008.
- PALM, C. A.; GILLER, K. E.; MAFONGOYA, P. L.; SWIFT, M. J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61:63-75, 2001.
- RENNIE, D. A. & PAUL, E. A. Isotope methodology and techniques in soil-plant nutrition and plantphysiology. Saskatoon Institute of Pedology, Saskatchewan, Canadá, Publication, 76:117-121, 1971.
- SALCEDO, I. H. & SAMPAIO, E. V. S. B. Dinâmica de nutrientes em cana de açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de $\text{NO}_3\text{-N}$ e $\text{NH}_4\text{-N}$ o solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 9:1103-1108, 1984.
- SAS. Institute SAS user's guide: statistics, 5th ed. Cary, NC, 1990.

- SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVEIRA, L. M. da. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I – produtividade vegetal e estoque de nutrientes em longo prazo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31: 39-49, 2007.
- TABOSA, J. N.; LIMA, G. S; LIRA, M. A.; TAVARES FILHO, J. J. ; BRITO, A.; RITA M. B. Programa de melhoramento de sorgo e milho em Pernambuco. In: EMBRAPA. (Org.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. 1 ed. BRASÍLIA-DF: EMBRAPA, v. 1, p. 29, 1999.
- 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 of the Association of Official Agricultural Chemists, 46:829-835, 1963.
- VANLAUWE, B.; GACHENGO, C.; SHEPHERD, K.; BARRIOS, E.; CADISCH, G.; PALM, C. A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. Soil Science Society of America Journal, 69:1135-1145, 2005.

CAPÍTULO III

DECOMPOSIÇÃO DE ESTERCO EM SOLOS ARENOSOS ADUBADOS COM ESTERCO E N MINERAL

Resumo: A mineralização do esterco foi estimada por três métodos: emissão de C-CO₂ em campo, incubação de solo em laboratório e perda de matéria seca em bolsas de rede plástica. O C-CO₂ emitido na superfície do solo foi capturado com solução de NaOH, utilizando câmaras acondicionadas na superfície do solo, em parcelas sem e com (11 t ha⁻¹) aplicação de esterco. Em laboratório foi feita a incubação de solo com adição de esterco (11 t ha⁻¹), combinado ou não com sulfato de amônio (60 kg N ha⁻¹), em recipientes de 2000 ml hermeticamente fechados contendo NaOH para captura do CO₂, durante 180 dias. As bolsas de decomposição com adição de esterco (11 t ha⁻¹) com e sem sulfato de amônio (60 kg N ha⁻¹), enterradas a 15 cm de profundidade, foram acompanhadas durante 110 dias. A decomposição do esterco, aplicado isoladamente, estimado via emissão de C-CO₂ em campo foi inferior a 5%. No ensaio de laboratório a decomposição, estimada pelo acumulado de C-CO₂ emitido, foi muito baixa, 5 e 3,5 % para o esterco aplicado isoladamente e com sulfato de amônio, respectivamente, em 180 dias de incubação. A aplicação de esterco combinado com N mineral apresentou menor emissão de C-CO₂ comparado com aplicação isolada. As perdas de matéria orgânica do esterco das bolsas plásticas foram de 41 e 51 % nas parcelas sem e com aplicação de N mineral, respectivamente. Acredita-se que a lenta decomposição do esterco foi determinada pela sua alta relação C/N (38) e alto teor de lignina (14 %). Esses resultados indicam que o esterco não é uma fonte imediata de N e sua aplicação deve ser acompanhada de fontes mais ricas nesse nutriente e de liberação mais rápida.

Palavras chaves: *Solanum tuberosum*, decomposição.

SUMMARY: The mineralization of farmyard manure (FYM) was estimated by three methods: C-CO₂ emission in the field, laboratory soil incubation and weight loss in litterbags. The C-CO₂ flux at the soil surface of field plots receiving (11 t ha⁻¹) or not FYM additions, was captured in NaOH traps placed inside inverted buckets on the soil surface. In the laboratory, soil samples receiving additions equivalent to 11 t ha⁻¹ of FYM, combined or not with 60 kg N ha⁻¹, were incubated during 180 days in tightly closed 2000 mL jars containing a NaOH trap to capture CO₂. The weight loss of FYM samples placed inside litterbags and buried at a 15 cm depth in the soil, in plots where 16 t ha⁻¹ of FYM combined or not with ammonium sulphate (60 kg N ha⁻¹) had been applied, was monitored during 110 days. The field decomposition measured by CO₂ emission was slow (<5%). The decomposition in the laboratory was also very low, 5 and 3,5% for manure applied alone and with ammonium sulfate, respectively. Dry matter losses in the litterbags were much higher, being greater in plot that had received mineral N. We interpreted the slow FYM decomposition rates as consequence its wide C/N ratio (38) and relatively high lignin content (14 %). These results suggest that FYM is not an adequate source for short-term N supply and that its application should be combined with a readily labile and richer N source.

Key words: *Solanum tuberosum*, decomposition.

INTRODUÇÃO

A produção de batatinha, *Solanum tuberosum* L. na Paraíba, concentra-se na micro-região do agreste paraibano, devido às particularidades edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento. É cultivada em solos classificados como NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (Embrapa, 1999), com alta proporção de areia, baixas capacidade de retenção de água, CTC e fertilidade natural.

A produtividade tem caído gradativamente ao longo dos últimos anos, devido ao manejo incorreto da fertilidade do solo, com aplicações de adubo insuficientes para alcançar produções satisfatórias. Os produtores são descapitalizados, sem condições de adquirir as quantidades necessárias de fertilizantes e a adubação limita-se quase sempre à aplicação de esterco bovino (Menezes et al., 2002) e ocasionalmente fertilizante nitrogenado. Mais recentemente, tentou-se combinar a aplicação de esterco com a adubação verde (Whalen et al., 2001; Silva, 2004), mas esta forma de manejo não foi ainda amplamente adotada pelos agricultores.

A aplicação de esterco é efetuada anualmente, em média 16 t ha⁻¹. A adubação mineral, quando efetuada, consiste da aplicação de N no plantio em dose média de 80 kg ha⁻¹. Não há estudos publicados para a região que indiquem a dose ideal de esterco para a cultura da batatinha. Trabalho preliminar na região, com aplicações anuais de esterco bovino durante seis anos consecutivos, demonstrou acúmulo de nutrientes na camada de 0-20 cm (Silva, 2007), coincidindo com resultados observados em outras situações (Sharpley et al., 1993; Sindique & Robinson, 2004; Sharpley et al., 2004).

A determinação da taxa de decomposição de resíduos orgânicos, como o esterco, é de grande importância para o manejo eficiente dessa fonte, pois possibilita estimar sua contribuição no fornecimento de nutrientes.

Vários parâmetros têm sido utilizados para prever a decomposição de resíduos vegetais e de esterco, como teores de N, C, lignina, hemicelulose e polifenóis, além das relações C/N e lignina/N. No entanto, dados de incubação em laboratório e/ou mineralização in-situ apresentam resultados mais reais (Van Kessel & Reeves III, 2002), devido à interação com os fatores ambientais que interferem na mineralização, como pH, temperatura, umidade e características intrínsecas de cada solo.

Os objetivos do presente trabalho foram estimar a mineralização do esterco por três metodologias: emissão de C-CO₂ em campo, incubação de solo em laboratório e perda de matéria seca em bolsas plásticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios com bolsas de decomposição e emissão de CO₂ em campo foram desenvolvidos em parcelas de um experimento com aplicação de N mineral e esterco na produção de batatinha, de maio a agosto de 2007. Resumidamente, o experimento de campo foi desenvolvido em área produtora de batatinha pertencente a pequenos agricultores do município de Esperança, PB, em um solo tido como NEOSSOLO REGOLÍTICO com textura franco-arenosa, cuja análise mostrou os seguintes resultados: C total: 10,3 g kg⁻¹; N total= 1,0 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 7,1; P melich-1 = 114 mg kg⁻¹; K melich-1 = 164 mg kg⁻¹; Al³⁺ = 0,0 cmol_c kg⁻¹; Ca e Mg trocáveis = 2,8 e 1,0 cmol_c kg⁻¹, respectivamente (Embrapa, 1999). O esterco utilizado para adubação foi retirado do curral da propriedade, com as seguintes características químicas: N total, 8,7 g kg⁻¹, P total 3,1 g kg⁻¹, K total 12,0 g kg⁻¹, Ca total 12,0 g kg⁻¹, Mg total 5,3 g kg⁻¹ (Embrapa, 1997), cinza, 82 % e lignina, 14% (Van Soest, 1963).

Decomposição estimada com bolsas plásticas

O estudo de mineralização com uso de bolsas plásticas foi realizado em parcelas que receberam 11 t ha⁻¹ de esterco na ausência de N mineral e com a mesma dose de esterco combinada com 60 kg ha⁻¹ de N. A mineralização foi estimada medindo-se a perda de matéria seca do material, em diferentes datas de coleta, colocado em bolsas de polietileno.

As bolsas de decomposição (litter bags) de malha plástica foram confeccionadas com as dimensões de 15 x 20 cm, com duas malhas distintas, uma de 1 mm na parte superior e uma de 0,6 mm na parte inferior, para minimizar a perda de esterco para o solo, pela diminuição do tamanho das partículas com o avanço da decomposição.

Em cada bolsa foram colocados 20 g de esterco seco, de composição conhecida e com granulometria entre 2 e 4,76 mm, representativa do esterco utilizado pelos produtores. Um total de 21 bolsas foi colocado em cada parcela, acondicionadas horizontalmente no solo a 15 cm de profundidade. Foram retiradas três bolsas, aleatoriamente, depois de 1, 2, 3, 5, 7, 11 e 14 semanas de colocadas.

O material remanescente nas bolsas foi separado da fração mineral com auxílio de um pincel e posteriormente seco em estufa de circulação forçada à 65° C. Após esse procedimento foi feita a pesagem do material que, em seguida, foi moído e analisado quanto ao teor de cinza (Embrapa, 1999). O teor de cinza foi utilizado para corrigir a contaminação com solo do esterco contido nas bolsas (Potthoff and Loftfield, 1998). A perda de matéria seca das bolsas foi transformada em perda de MO do esterco, utilizando os dados de matéria seca remanescente e o teor de cinza das amostras.

Emissão de CO₂ *in situ*

O método baseia-se na captura do CO₂ emitido na superfície do solo com solução de NaOH. A emissão foi medida em parcelas sem adição de esterco e N mineral, contrastando com a emissão de parcelas com adição de 11 t ha⁻¹ de esterco e sem N mineral. Para isso foram utilizadas câmaras com 2,8 dm³, consistindo de um recipiente plástico circular, com raio de 11 cm e altura de 12 cm. Os recipientes permaneceram invertidos durante 24 h sobre a superfície do solo, em cada data de amostragem, com as bordas inseridas no solo e afixadas por pinos metálicos que transpassavam furos nas bordas. Dentro de cada câmara foram colocados dois recipientes com 20 ml de NaOH 0,1M para capturar o CO₂ emitido. Foram instaladas quatro câmaras por parcela.

Foram feitas medidas até a colheita da batatinha, 74 dias após o plantio, sendo duas vezes por semana nos primeiros 30 dias e uma vez por semana a partir do segundo mês.

Após transcorrido o período de 24 horas, o NaOH foi transferido para um recipiente, lacrado, e em seguida levado para quantificação do carbonato em laboratório, sendo o mesmo quantificado por titulação potenciométrica com HCl. 0,05 M (Sampaio e Salcedo, 1982).

Emissão de CO₂ *in vitro*

O experimento foi conduzido em laboratório e consistiu na incubação de solo em recipientes de 2000 ml hermeticamente fechados, com armadilha de NaOH para captura de CO₂. O solo utilizado para incubação foi coletado na área onde foi realizado o experimento com decomposição e mineralização de esterco com uso de bolsas plásticas e emissão de CO₂ no campo. Foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm, coletadas antes da implantação do experimento de campo.

Os tratamentos foram os seguintes: controle (solo sem esterco); esterco em três granulometrias (menor que 0,53 mm; 0,53-2 mm e 2-4 mm) na dose de 11 t ha⁻¹ de esterco (85% de matéria seca) em arranjo fatorial com duas doses de N mineral (0 e 60 kg ha⁻¹), com quatro repetições.

O esterco e o adubo nitrogenado foram misturados a 100 g de solo seco ao ar em pequenos copos plásticos, que foram depois incubados dentro de frascos de 2000 ml com tampa de rosca; a quantidade de esterco (matéria seca) e N mineral foram calculadas considerando-se a densidade do solo no copo plástico. O solo foi umedecido com um volume de água equivalente a 40% do volume de poros. Após colocar dentro dos frascos o copo contendo solo, foram colocados um recipiente com 20 ml de NaOH 1mol L⁻¹ e um outro com água para manter a umidade do ar estável., e os frascos foram imediatamente fechados hermeticamente. Frascos contendo apenas NaOH foram utilizados como brancos. Os frascos foram abertos, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o início da incubação, para troca do NaOH e quantificação de CO₂ por titulação potenciométrica do C seqüestrado pelo NaOH (Sampaio e Salcedo, 1982).

Os resultados foram submetidos a análise de variância em contrastes ortogonais, entre os diferentes tratamentos, para a variável emissão de C-CO₂, utilizando o programa estatístico SAS (SAS, 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Bolsas de decomposição

A perda de matéria orgânica do esterco foi mais acentuada nas parcelas que receberam nitrogênio durante todos os 110 dias do ensaio, chegando a 51 e 41 % da massa do Carbono original, com e sem nitrogênio, respectivamente (Figura 1), correspondendo à perda de matéria seca de 25,5 e 19 %. Silva et al. (2007) realizaram ensaio de decomposição de esterco caprino em condições semelhantes, nos mesmo solos e clima, e obtiveram perdas de matéria seca do esterco, após 82 dias, de 60%. Esse valor muito superior na perda de matéria seca provavelmente ocorreu pelo fato de terem utilizado esterco caprino, que apresentava quatro vezes mais N que o esterco bovino usado neste ensaio, uma vez que o teor de N é determinante na taxa de decomposição de resíduos orgânicos (Fox et al, 1990).

O baixo teor de nitrogênio e alto teor de lignina (Vanlauwe et al., 2005) no esterco utilizado podem ter sido fatores de retardamento na decomposição do esterco

sem N, tendo em vista que quanto mais alta a relação C/N menor a velocidade de decomposição do material (Fox et al, 1990). Em algumas condições, a relação (lignina + polifenóis)/N tem sido considerada mais adequada que a relação C/N para prever a taxa de decomposição de resíduos orgânicos de plantas (Constantinides & Fownes, 1994).

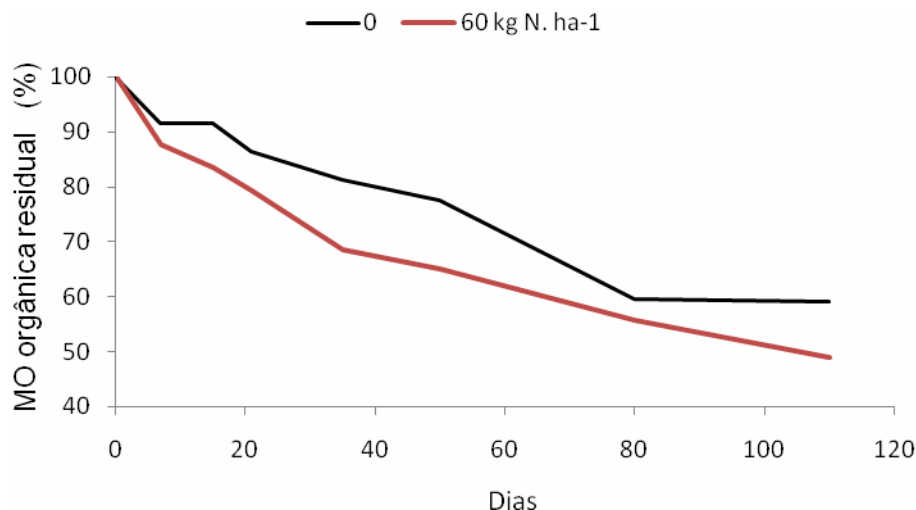


Figura 1. Percentagem de matéria orgânica adicionada via esterco remanescente nas bolsas de decomposição (litter bags), ao longo de 110 dias, com e sem aplicação de N-mineral.

O esterco aplicado de forma isolada pode levar a uma deficiência de nutrientes às plantas, principalmente N. Menezes e Salcedo (2007) observaram imobilização líquida de N durante os 56 primeiros dias de ensaio de incubação, com solo e esterco com composição semelhante às desse estudo. Quando se faz a aplicação junto com uma fonte mais lábil de nitrogênio, seja adubação verde (Silva, 2007) ou adubo mineral, aumenta a possibilidade de sincronia entre a disponibilização de nutrientes no solo e a demanda das culturas.

CO₂ no campo

As curvas de emissão de CO₂ no solo com e sem adição de esterco (Figura 2) apresentaram bastante sincronia entre si nas oscilações ao longo do período estudado, sendo que nas parcelas com aplicação do esterco os fluxos foram consistentemente maiores. Como citado anteriormente, acredita-se que alto teor de lignina e o baixo teor

de N no esterco utilizado foram responsáveis pela pequena diferença na emissão de CO₂ em campo, quando comparadas as quantidades de C do esterco mineralizadas nas parcelas com e sem aplicação de esterco.

Depois de transcorridos 20 dias da incorporação do esterco no solo, o fluxo de C-CO₂ teve correlação significativa ($R= 0,79$, $p<0,01$) com a precipitação acumulada nos 5 dias anteriores à medição (Figura 2 A e B). A maior disponibilidade de água favoreceu a intensificação da atividade microbiana e,consequentemente maior emissão de C. A decomposição de qualquer resíduo orgânico depende, além da composição química, das condições de solo, especialmente da umidade e temperatura. (Rochette et al, 2004). Esse fato pode ser confirmado pela baixa emissão de CO₂, aos 57 dias, essa medição foi realizada após alguns dias sem precipitação e, tratando-se de solos com alto teor de areia (82%), que mantém a umidade por curtos períodos, pode ter havido na atividade dos microorganismos por falta de água.

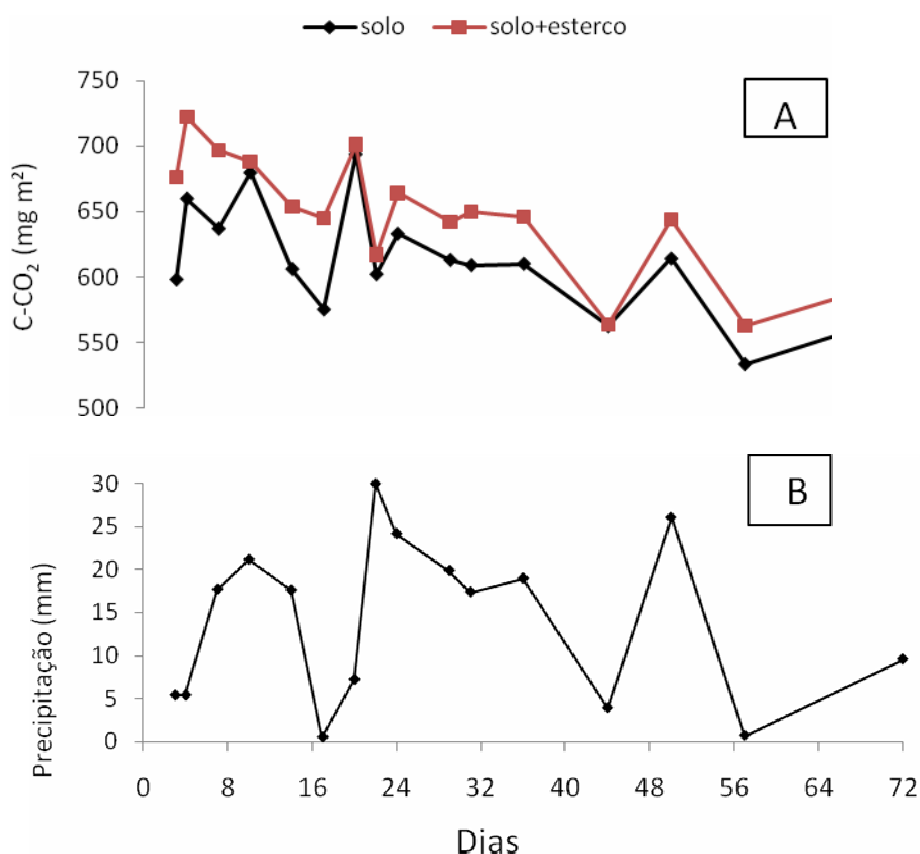


Figura 2. A: quantidade de C-CO₂ emitido na superfície de um Neossolo em parcelas com e sem aplicação de esterco, ao longo de 74 dias de ensaio em campo. **B:** precipitação pluviométrica acumulada 5 dias antes da medição da emissão de C-CO₂.

Comparando-se o C do esterco perdido, estimado com bolsas de decomposição, em parcelas com esterco, mas sem N (41% em 110 dias, Figura 1), com os dados estimados com a emissão direta no campo (<3%) (Figura 3), há uma diferença muito grande. Isto se deve, provavelmente, ao fato de que nas bolsas ter havido perdas de todas as frações de esterco que diminuíram a um diâmetro menor que 0,6 mm, e que passaram pela malha. Este material é computado como mineralizado. Medindo-se a emissão de CO₂ no solo, considera-se somente o C que foi realmente mineralizado.

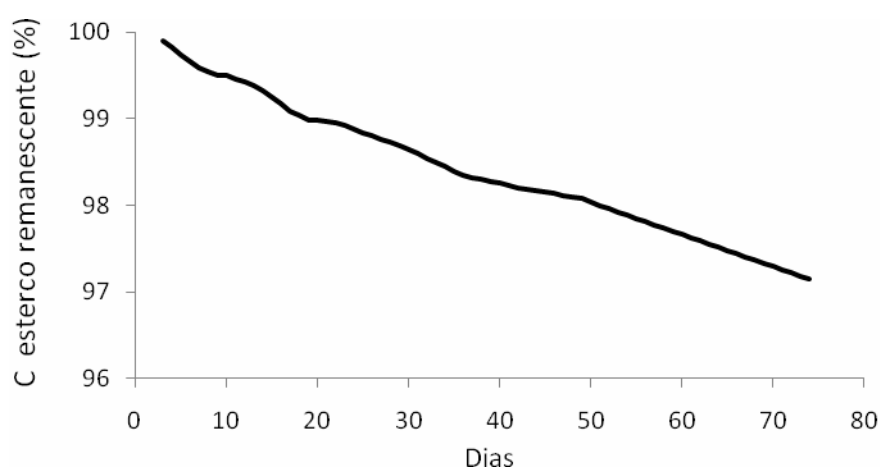


Figura 3. Percentagem do C do esterco mineralizado, estimado pela emissão de C-CO₂ em campo, em um Neossolo Regolítico com aplicação de esterco, ao longo de 75 dias de ensaio em campo.

Mineralização em laboratório

A emissão de C-CO₂ no solo com adição de esterco foi 33% maior que no solo controle (Tabela 2), sendo estatisticamente significativa (Tabela 3). O aporte de C via esterco aumenta a oferta de energia aos microorganismos do solo, levando a maior emissão de C-CO₂ via respiração, no entanto, o baixo teor de N nesse material pode ocasionar imobilização de N do solo pelos microorganismos (Mallory, et al 2007). Em condições semelhantes, foi observada imobilização líquida do N do solo com adição de esterco, durante 56 dias (Menezes e Salcedo, 2007).

A adição de N-mineral ao solo também aumentou a quantidade de C-CO₂ emitido em 18 %, acumulado em 180 dias, em relação ao solo sem tratamento (Tabela 3). O fornecimento de N prontamente disponível ao solo promove o aumento na taxa de

decomposição (Assis et al, 2003), podendo levar à redução no estoque de C no solo (Bowden, 2000). Em condições temperadas, a adubação nitrogenada levou a diminuição na emissão de C-CO₂, consequentemente aumento no estoque de C no solo, (Ding, et al, 2007; Nadelhoffer et al, 1999).

A entrada de N do fertilizante juntamente com o esterco diminuiu a emissão de C-CO₂ C aportado pelo esterco (Tabela 3), sendo um indicativo de que C está sendo incorporado ao solo, já que para fixar C no solo é necessário haver disponibilidade de N.

Tabela 2. Emissão de C-CO₂ em solo adubado com combinação de sulfato de amônio (N) (60 kg N ha⁻¹) e esterco (E) (16 t ha⁻¹) com 3 granulometrias (EG1: menor que 0,53mm; EG2: 0,53-2mm e EG3: 2-4mm) acumulada em 180 dias de ensaio em laboratório.

Tratamento	C-CO ₂
	mg kg solo ⁻¹
Controle	4,6
N	5,4
EG1	5,8
EG2	6,1
EG3	6,6
EG1N	5,3
EG2N	5,3
EG3N	6,4

Tabela 3. Contrastes ortogonais entre diferentes tratamentos para a emissão de C-CO₂ em solo com adição combinada de esterco e N mineral.

Contraste	C-CO ₂
	mg kg solo ⁻¹
Controle X N ¹	-0,55**
controle x E ²	-1,2**
N X N + E	-0,22 ^{ns}
E x E + N	-0,44**
EG1N +EG2N x EG3N ³	0,15 ^{ns}
EG1 +EG2 x EG3	0,35 *

1-N=60 kg N ha⁻¹; 2 E=16 t ha⁻¹, 3-EG1: menor que 0,53mm; EG2: 0,53-2mm e EG3: 2-4mm ns: não significativo; ** significativo a 1%; * significativo a 5 %.

Em relação à granulometria, a maior emissão acumulada de C-CO₂ ocorreu na fração de esterco mais grosseira, de 2-4 mm, (Tabela 3). A maior granulometria do

material poderia limitar seu contato com os microorganismos e apresentar menor emissão de C (Alexander, 1977), mas, a análise dos teores de cinzas nas diferentes frações granulométricas do esterco mostrou que na fração mais grosseira o teor de MO era bem superior. O esterco antes de ser separado em diferentes granulometrias apresentava 82 % de cinzas. Depois de separado por tamanho de partícula, os teores de cinza foram os seguintes 85, 78 e 72 % para as frações menor que 0,53 mm, 0,53-2 mm e 2-4 mm, respectivamente. O esterco foi coletado em contato direto com o solo e, conseqüentemente, a contaminação com minerais pode ser alta. Essa situação parece ser freqüente nos esterco da região, segundo determinado por Galvão et al., (2008). A maior concentração de cinza na granulometria mais fina provavelmente é devida ao fato das partículas de solo estarem também dentro dessa faixa de tamanho de partícula.

Na fase inicial da incubação, nas primeiras duas semanas, ocorreu um retardo da produção de C-CO₂ (Figura 4). Provavelmente, a deficiência de nutrientes (ou nitrogênio) tenha sido responsável por esse comportamento. Imobilização de N nas duas primeiras semanas de incubação, em tratamentos com uso de esterco, foi observada em experimentos de incubações em laboratório, com o mesmo tipo de solo (Menezes e Salcedo, 2007).

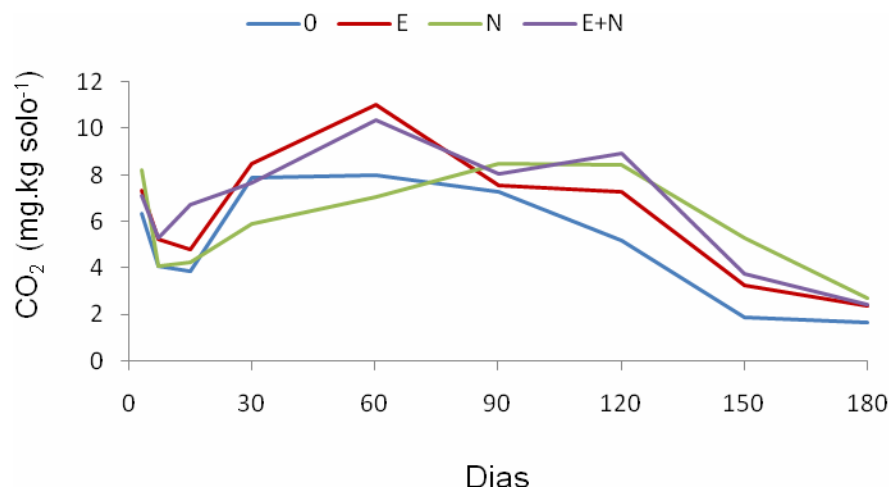


Figura 4. Emissão de C-CO₂ em solo adubado com combinação de N mineral (0 e 60 kg N ha⁻¹) e esterco (0 e 16 t ha⁻¹) ao longo de 180 dias de ensaio em laboratório. 0: sem adubação; E: 16 t ha⁻¹; N: 60 kg N ha⁻¹; E+N: t ha⁻¹ + 60 kg N ha⁻¹. Os valores usados nas curvas E e E+N são a média das 3 granulometrias EG1: menor que 0,53mm; EG2: 0,53-2mm e EG3: 2-4mm)

A decomposição do esterco, estimada pelo acumulado de C-CO₂ emitido, foi muito baixa, 5 e 3,5 % para o esterco aplicado isoladamente e com sulfato de amônio, respectivamente (Figura 5).

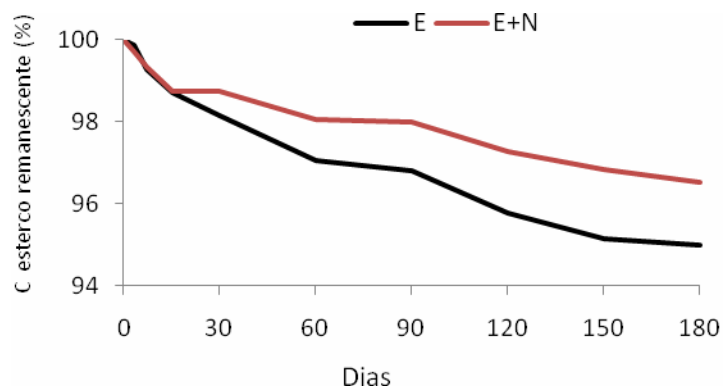


Figura 5. Percentagem do C do esterco mineralizado, estimado pela emissão de C-CO₂ em laboratório, em um Neossolo Regolítico com aplicação de esterco e sulfato de amônio, ao longo de 180.

CONCLUSÕES

A aplicação de esterco combinado com N mineral apresentou maior emissão de emissão de C-CO₂.

A emissão de CO₂ medida em campo teve estreita relação com a precipitação, mostrando que as condições ambientais aliadas as características químicas do esterco levaram a uma decomposição lenta.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 467p, 1977.
- ASSIS, E.P.M.; CORDEIRO, M.A.S.; PAULINO, H.B.; CARNEIRO, M.A.C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, 33:107-112, 2003.
- BOWDEN, R.D., G. RULLO, G.R. STEVENS, AND P.A. STEUDLER. Soil fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane at a productive temperate deciduous forest. J. Environ. Qual. 29:268–276, 2000.

- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Brasília: Embrapa. Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 412p, 1999.
- CONSTANTINIDES M; FOWNES JH. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry* 26:49-55, 1994.
- DING, W., CAI, Y., CAI, Z., YAGI, K. AND ZHENG, X. Soil Respiration under Maize Crops: Effects of Water, Temperature, and Nitrogen Fertilization. *Soil science society America journal*. 71: 944-95, 2007
- EMBRAPA - Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 1999.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J.K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and soil*, 129:251-259, 1990.
- HAILE-MARIAM, S. W. CHENG, D.W. JOHNSON, J.T. BALL, AND E.A. PAUL. Use of Carbon-13 and Carbon-14 to Measure the Effects of Carbon Dioxide and Nitrogen Fertilization on Carbon Dynamics in Ponderosa Pine, *Soil science society America journal*, 64:1984-1993, 2000.
- MALLORY, E. B. & GRIFFIN, T. S. Impacts of Soil Amendment History on nitrogen Availability from Manure and Fertilizer. *Soil science society America journal*, 71:964-973, 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*, 11:361-367, 2007.
- NADELHOFFER, K.J., B.A. EMMETT, P. GUNDERSEN, O.J. KLONAAS, C.J. KOOPMANS, P. SCHLEPPI, A. TIETEMA, AND R.F. WRIGHT. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature*, 398:145-148, 1999.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd ed., Madison, ASA/SSSA, p.403-430, 1982.
- OLSON, R.V. & ELLIS, R. Iron. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2*. 2nd ed., Madison, ASA/SSSA, p.301-312, 1982.

- POTTHOFF, M. AND N. LOFTFIELD. How to quantify contamination of organic litter bag material with soil? *Pedobiologia* 42:147–153, 1998.
- ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; BERTRAND, N.; CÔTÉ, D. Carbondioxide and nitrous oxide emissions following fall and spring applications of pig slurry to an agricultural soil. *Soil science society of America journal*, 68:1410-1420, 2004.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Decomposição de Palha Marcada e Incorporação de 14-C À Biomassa Microbiana de Um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista brasileira de ciência do solo*, Campinas, 6:29-32, 1982.
- SHARPLEY, A.N.; MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of environmental quality*, 29:1462-1469, 2000.
- SHARPLEY, A.N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN, J.A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *Soil science society of America journal*, 68:2048-2057, 2004.
- SIDDIQUE, M T, ROBINSON, J. & ALLOWAY, B. J. Phosphorus Reactions and Leaching Potential in Soils Amended with Sewage Sludge. *Journal of environmental quality*, 29:1931-1938, 2000
- SILVA, T. O. da.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVEIRA, L. M. da. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, crotalaria juncea. I – produtividade vegetal e estoque de nutrientes em longo prazo. *Revista brasileira de ciência do solo*, Viçosa, 31:39-49, 2007.
- VAN KESSEL, J. S.; REEVES, J. B. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and fertility of soils*, Berlin Heidelberg, 36:118-123, 2002.
- VANLAUWE, B.; GACHENGO, C.; SHEPERD, K.; BARRIOS, E.; PALM, C. A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil science society America journal*, 69:1135-1145, 2005.
- WHALEN, J. K.; CHANG, C.; OLSON, B. M. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biology and fertility of soils*, Berlin Heidelberg, 34:334-341, 2001.