

KAROLINE DE MELO PADILHA

CRESCIMENTO DE MILHO E ATRIBUTOS DE SOLOS EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE DOSES DE SUBPRODUTO DE CAFÉ

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CRESCIMENTO DE MILHO E ATRIBUTOS DE SOLOS EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE DOSES DE SUBPRODUTO DE CAFÉ

KAROLINE DE MELO PADILHA

SOB ORIENTAÇÃO DA PROFESSORA
DR^a. MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das exigências
do Programa de Pós Graduação em
Produção agrícola, para obtenção do
título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CRESCIMENTO DE MILHO E ATRIBUTOS DE SOLOS EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE DOSES DE SUBPRODUTO DE CAFÉ

KAROLINE DE MELO PADILHA

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO – 2013

Ficha Catalográfica

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

P123c Padilha, karoline de Melo

Crescimento de milho e atributos de solos em função da aplicação de doses de subproduto de café/ Karoline de Melo Padilha.- Garanhuns, 2013

90f.

Orientador: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, 2013.

Inclui bibliografias

CDD: 631.86

1. Adubação orgânica
 2. Cultivo de milho
 3. Avaliação química e biológica
 4. Fósforo
- I. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos
 - II. Título

CRESCIMENTO DE MILHO E ATRIBUTOS DE SOLOS EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE DOSES DE SUBPRODUTO DE CAFÉ

KAROLINE DE MELO PADILHA

APROVADO EM: 31 DE JULHO DE 2013

Karina Marie Kamimura

Dra. Karina Marie Kamimura

Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

Dr. Alexandre Tavares da Rocha

M^a Betânia G.S. Freire

Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos
Freire

*Ao meu pai José Reinaldo Tenório Padilha
A minha mãe Maria do Carmo de Melo Padilha
Aos meus irmãos Karine e Pedro*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, saúde e pela oportunidade de concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais e aos meus irmãos pelo incentivo, amor e paciência nos momentos mais difíceis.

À professora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pela orientação, competência e paciência comigo.

Aos professores Gustavo Pereira Duda e Edivan Rodrigues de Souza, pela paciência e pelas orientações durante a execução deste trabalho.

A todos os Professores pelos conhecimentos transmitidos, especialmente aos professores José Romualdo de Sousa Lima, Júlia Kuklinsky Sobral, Erika Valente Medeiros e Antônio Ricardo Santos de Andrade.

À CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação.

À UAG-UFRPE e ao programa de Pós Graduação em Produção Agrícola na Unidade Acadêmica de Garanhuns e CENLAG, pela disponibilidade no uso de equipamentos e utensílios para realização das análises.

Ao Ipa e a Fábrica Café Ouro Verde pela colaboração para realização deste trabalho.

Aos amigos Nielson Lima, Clarissa Albuquerque, Pricila Barros, Carol Cavalcanti e Josenildo Assis pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos companheiros de pesquisa Aline, Arnaldo, Cataliny, Érica, Júnior, Pollyanna, Pricila, Karinne Reis, Raquel, Rita, Sidnei e Wendson que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A Uemeson José pela ajuda durante todo o desenvolvimento deste trabalho. A você o meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

KAROLINE DE MELO PADILHA, filha de José Reinaldo Tenório Padilha e Maria do Carmo de Melo Padilha, nascida em Garanhuns – PE em 17 de Setembro de 1986.

Ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns em 2006, graduando-se em 2011.

Em Agosto de 2011 iniciou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na mesma Universidade, sob orientação da Professora Dr^a Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, submetendo-se a defesa pública de dissertação em 31 de julho de 2013.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------|----|
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| INTRODUÇÃO GERAL | 13 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 15 |
| | |
| CAPÍTULO I..... | 19 |
| RESUMO | 20 |
| ABSTRACT | 21 |
| INTRODUÇÃO..... | 22 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 24 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 27 |
| CONCLUSÃO..... | 35 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |
| | |
| CAPÍTULO II..... | 41 |
| RESUMO | 42 |
| ABSTRACT | 43 |
| INTRODUÇÃO..... | 44 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 45 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 49 |
| CONCLUSÃO..... | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| | |
| CAPÍTULO III..... | 69 |
| RESUMO | 70 |
| ABSTRACT | 71 |

| | |
|---------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO..... | 72 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 73 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 77 |
| CONCLUSÃO..... | 85 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 86 |

RESUMO GERAL

A adição de adubos orgânicos no solo pode fornecer nutrientes às plantas e melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo. Um dos adubos orgânicos utilizado na agricultura é o subproduto de café, o qual é rico em potássio e outros nutrientes que podem ser disponibilizados para as plantas pelo processo de decomposição e mineralização. Este trabalho teve como objetivo avaliar as mudanças nas propriedades químicas e biológicas de dois solos com textura diferente após adição de subproduto orgânico proveniente da agroindústria do café, bem como o crescimento de plantas de milho e seu estado nutricional. O experimento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 8 (dois solos e oito doses de subproduto) e as doses do subproduto de café foram equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% do total de P recomendado para a cultura do milho. Foi feita a incorporação do subproduto de café aos solos, realizando-se amostragens aos 30, 60 e 90 dias da incubação, quando foi feito o plantio de seis sementes de milho por vaso. Aos 35 dias de cultivo, as plantas de milho foram cortadas rentes ao solo, para a avaliação do crescimento, tomando-se mais uma amostra dos solos. Nas amostras da fase de incubação e após o cultivo do milho, foram avaliadas variáveis químicas e biológicas, realizando-se, também, a avaliação do crescimento e dos teores e conteúdos de P e K⁺ no tecido vegetal. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05), para o fator solo e para o fator dose foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. Não houve efeito significativo dos tratamentos aplicados sobre a variável Mg²⁺ do solo. O maior pico de liberação dos nutrientes Ca²⁺, K⁺ e P ocorreu aos 90 dias, sendo os teores de Ca²⁺ e K⁺ significativamente superiores no Argissolo Amarelo, enquanto os teores de P foram maiores no Latossolo Amarelo. O C-CBM apresentou comportamento semelhante nos períodos de 30, 60 e 90 dias, no Latossolo Amarelo; enquanto no Argissolo Amarelo, o C-CBM aumentou com o tempo de incubação. A RBS, o quociente metabólico (qCO_2), o COT e o CSA tiveram maiores valores no período de 30 dias e no Argissolo Amarelo, enquanto o quociente microbiano ($qMic$), foi superior no Latossolo Amarelo. Houve resposta positiva às doses do subproduto para DC, AP, NF e MSPA, que foram significativamente superiores no Latossolo Amarelo, bem como o teor e o conteúdo de potássio e fósforo na parte aérea das plantas de milho.

Palavras-chave: *Zea mays*, fósforo, adubação orgânica.

GENERAL ABSTRACT

The addition of organic fertilizers in the soil may provide nutrients to plants and improve the chemical, physical and biological soil. One of the organic fertilizers used in agriculture is the byproduct of coffee, which is rich in potassium and other nutrients that may be available to the plants by the process of decomposition and mineralization. This work aimed to evaluate the changes in chemical and biological properties of two soils with different texture after adding organic byproduct from the agribusiness of coffee as well as the growth of maize plants and their nutritional status. The experiment was a randomized block, with factorial scheme 2 x 8 (two soils and eight sources of byproduct) and the sources of coffee byproduct were equivalent to 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 and 200% of the total of P recommended for corn. Was made incorporate of the coffee byproduct to soil, realized sampling at 30, 60 and 90 days of incubation, when the planting was made six corn seeds (BRS-Catingueiro) per pot, with thinning 10 days after emergency. After 35 days of cultivation, corn plants were cut flush to soil for the evaluation of growth, taking a further sample of soil. Samples of the incubation phase and after the cultivation of maize, were evaluated chemical and biological variables, realized, also, the assessment of growth and contents and contents of P and K⁺ in vegetable tissue. The results were submitted to analysis of variance and, when significant, the averages were compared by Tukey (P<0,05), for the soil factor and the factor dose was adjusted regression equations of the dependent variables as a function of dose applied. There was no significant effect treatments applied on the variable Mg²⁺ of the soil. The highest contents of the nutrients Ca²⁺, K⁺ e P occurred at 90 days, being the contents of Ca²⁺ e K⁺ significantly higher in the Ultisol, while the contents of P were in the Oxisol. The C-MBC showed similar behavior in periods of 30, 60 and 90 days, in the Oxisol; while in the Ultisol, the C-CBM increased with time of incubation. A RBM, metabolic quotient (qCO_2), COT and CSA had higher values in periods of 30 days and in Ultisol, while the microbial quotient ($qMic$), were better in the Oxisol. There was a positive response to the doses of the byproduct to DC, AP, NF and MSPA, which were significantly higher in the Oxisol, well as the content and the content of potassium and phosphorus in shoots of maize plants.

Keywords: *Zea mays*, phosphorus, organic fertilization.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, sendo utilizado tanto para a alimentação humana como a de animais, além de constituir matéria prima para diversos complexos agroindustriais. Em relação à produção mundial deste cereal, o Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China. No Brasil, cerca de 75% da produção do milho é destinada à alimentação animal (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; BRASIL, 2010; FAO, 2010).

De acordo com o nono levantamento da safra de milho 2012/2013 realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a área de plantio deste cereal no País foi de aproximadamente 7 milhões de hectares. Quando se compara os números desta safra com a anterior, ocorreu uma redução de 9,2% de área plantada na primeira safra. Essa diminuição está relacionada com a escassez de chuva durante a semeadura no Nordeste e a redução de plantio na Região Centro – Sul, em virtude do aumento do plantio de soja precoce (CONAB, 2013).

Um dos entraves para o cultivo desta cultura é a necessidade de altas quantidades de fertilizantes para a obtenção de uma boa produtividade. Geralmente os solos das regiões tropicais apresentam baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca catiônica e elevada adsorção de fósforo, devido principalmente aos altos teores de óxidos de ferro e alumínio. Além disso, o fósforo pode formar complexos com os íons de ferro e alumínio na solução do solo, o que diminui a sua disponibilidade para as plantas e, conseqüentemente, a produção das culturas é limitada (LOPES e GUILHERME, 2007; FARIAS et al., 2009; KORNDÖRFER e MELO, 2009).

Diante desses entraves, fica evidente a importância de técnicas que possam reduzir os custos de produção e melhorar as condições do solo. Uma destas técnicas é a adoção de adubos orgânicos que forneçam nutrientes de forma adequada para suprir a demanda nutricional da cultura. Conforme Rodrigues et al. (2011), as concentrações de nutrientes nos adubos inorgânicos são superiores as encontradas nos adubos orgânicos, no entanto, estes apresentam uma maior diversidade de nutrientes quando comparados aos inorgânicos. Neste sentido, diversos pesquisadores têm estudado o potencial de diferentes resíduos orgânicos como fontes de nutrientes às plantas (LIMA et al., 2008; BARROS et al., 2011; KASONGO et al., 2011; SILVA et al., 2011; VIEIRA et al.,

2011). Um dos resíduos que tem sido estudado é o subproduto de café que, conforme Dias et al. (2010) e Kasongo et al. (2011) durante o processo agroindustrial de café é gerado uma grande quantidade de resíduos, os quais apresentam na sua constituição química quantidade de nitrogênio e potássio superior a outros resíduos orgânicos. Além desses nutrientes, este material orgânico apresenta na sua constituição química o P que pode ser liberado para o solo e, conseqüentemente, utilizado para o crescimento das plantas.

Além do fornecimento de nutrientes às plantas, a utilização de resíduos orgânicos podem influenciar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (LOSS et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011), pois com a adição do resíduo orgânico ocorre um incremento da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, os processos de adsorção e precipitação do fósforo são minimizados; a capacidade de troca catiônica aumenta; a formação e estabilização dos agregados do solo é favorecida com conseqüente aumento na aeração, infiltração e retenção de água. Além disso, os compostos do material orgânico são fontes de carbono e energia para os microrganismos do solo, aumentando a sua atividade e os estoques de carbono e nutrientes no solo (MEURER, 2004; BRITO et al., 2005; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008; PAVINATO e ROSOLEM, 2008; SILVA et al, 2012) No entanto, em curto prazo, segundo Araújo e Monteiro (2007) o estudo dos microrganismos do solo apresentam respostas mais rápidas as modificações que ocorre no solo, quando comparado aos atributos químicos e físicos, entretanto, estes são influenciados pelas modificações na população e atividade microbiana.

O comportamento dos microrganismos do solo pode ser estudado através dos indicadores biológicos, os quais indicam a atividade dos mesmos no solo e, conseqüentemente, a decomposição da matéria orgânica e os estoques de carbono e nutrientes no solo. Enquadram-se como indicadores biológicos a biomassa microbiana, a respiração microbiana do solo, quociente metabólico e quociente microbiano, carbono solúvel em água, entre outros. Sendo estes sensíveis a qualquer modificação que ocorra no solo (MATSUOKA et al., 2003; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008; PORTUGAL et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as mudanças nas propriedades químicas e biológicas de dois solos com textura diferente após adição

de subproduto orgânico proveniente da agroindústria do café, bem como o crescimento de plantas milho e seu estado nutricional.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.5, p.187 – 196; 2012.

BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação agronômica de bio-sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.630–638, 2011.

BRASIL. Câmara setoriais e temáticas aves e suínos. **Panorama do milho**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Aves_e_suinos/1_reuniao/Panorama_do_Milho.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2013.

BRITO, O. R.; VENDRAME, P. R. S.; BRITO R. M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Ciências Agrárias**, v. 26, p. 33-40, 2005.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento, junho 2013 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2013.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; HIGASHIKAWA, F. S.; ROIG, A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. **Bioresource Technology**, v. 101, p.1239–1246, 2010.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Milho: Principais países produtores**. 2010. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 10 de maio de 2013.

FARIAS, D. R; OLIVEIRA, F. H. T; SANTOS, D; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. I –Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.623-632, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa Microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. Cap. 11, p. 159-170.

KASONGO, R. K.; VERDOODT, A.; KANYANKOGOTE, P.; BAERT, G.; RANST, E. V. Response of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) to coffee waste application on a humid tropical sandy soil. **Soil Use and Management**, v. 29, p. 22–29, 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Revista Ciência e agrotecnologia**, v. 33, p. 92-97, 2009.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M.; SAMPAIO, L. R. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. **Revista Caatinga**, v.21, p.102-106, 2008.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v.39, p. 1077 - 1082, 2009.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MUERER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2091-2100, 2008.

RODRIGUES, P. F.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E. ; COSTAS, R. N. T.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S. Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.788–793, 2011.

SILVA, J. A.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, G. S.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, A. N.P.; ARAÚJO, M. A. M. Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.253–257, 2012.

SILVA, T. O. de; PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, J. O. Crescimento inicial e absorção de nutrientes por mudas de pinhão manso submetidas à adubação orgânica em solos distintos. **Scientia Plena**, v. 7, n. 8, p. 1-9, 2011.

VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 535-542, 2011.

CAPÍTULO I

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DE DOIS SOLOS EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE SUBPRODUTO DA AGROINDÚSTRIA DE CAFÉ**

RESUMO

As propriedades químicas do solo podem ser influenciadas pela adição de adubos orgânicos no solo, pois estes adubos, além de fornecerem nutrientes às plantas, podem proporcionar uma redução nos processos de lixiviação e adsorção de fósforo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a liberação de nutrientes de um subproduto agroindustrial de café incorporado em dois solos com texturas distintas. O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação, no delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto, com cinco repetições. As doses crescentes do subproduto de café foram equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% da quantidade total de P recomendada para a cultura do milho. Foram realizadas coletas mensais do solo (30, 60, 90 e 125 dias após a incorporação do subproduto no solo) para a avaliação dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e P disponível. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), para o fator solo e para o fator dose foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. Não houve efeito significativo para os fatores dose e solo para a variável Mg^{2+} . Para os teores de Ca^{2+} no solo, o Argissolo Amarelo foi significativamente superior ao Latossolo Amarelo, com o maior pico de liberação aos 90 dias após a incorporação do subproduto ao solo. Os teores de K^+ foram superiores no Argissolo Amarelo em todos os períodos avaliados e a maior liberação deste nutriente pelo subproduto ocorreu aos 90 dias. Os teores de P foram superiores no Latossolo Amarelo em relação ao Argissolo Amarelo, apresentando o pico de liberação deste nutriente aos 90 dias.

Palavras-chave: adubação orgânica, fósforo, disponibilidade de nutrientes.

ABSTRACT

The chemical properties of the soil can be influenced by the addition of organic fertilizers in the soil, because these fertilizers, in addition to providing nutrients to plants, can provide a reduction in the processes of leaching and phosphorus adsorption. This study aimed to evaluate the liberation of nutrients from a byproduct of coffee agroindustrial byproduct incorporated in two soils with different textures. The experimental design was a randomized block, with factorial scheme 2 x 8, two solos and eight sources of byproduct. The increasing sources of the coffee byproduct were equivalent to 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 and 200% of the total amount of P recommended for corn. Were collected monthly soil (30, 60, 90 and 125 days because incorporation of the byproduct into the soil) to evaluation the levels of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ exchangeable and available P. The results were submitted to analysis of variance and, when significant, the averages were compared by Tukey ($P < 0,05$), for the soil factor and the factor dose was adjusted regression equations of the dependent variables as a function of dose applied. There was no significant effect for the factors dose and soil for the variable for Mg^{2+} . For Ca^{2+} in the soil, Ultisol was significantly higher than the Oxisol, with the highest peak release at 90 days after the incorporation of the byproduct to the soil. The K^+ contents were higher than in the Ultisol in all periods and the greater liberation of this nutrient by the byproduct occurred at 90 days. The P contents were higher in Oxisol over the Ultisol, with the peak liberation of this nutrient at 90 days.

Keywords: organic fertilization, phosphorus, nutrient availability.

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura que requer uma grande quantidade de nutrientes, a fim de se obter uma produtividade adequada. No entanto, os custos elevados na aquisição de fertilizantes inorgânicos é um dos maiores entraves no seu processo produtivo. O uso de adubos orgânicos como fontes de nutrientes e matéria orgânica para o solo, apresenta-se como alternativa para a redução dos custos de produção em substituição ou complementação da adubação mineral. Segundo Andrade et al. (2011), os resíduos orgânicos gerados nos sistemas agropecuários quando adicionados ao solo podem disponibilizar nutrientes às plantas, influenciando positivamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

A disponibilização dos nutrientes e os efeitos sobre as condições do solo que os resíduos orgânicos podem proporcionar dependem da sua decomposição e da taxa de liberação de seus nutrientes, pois resíduos com decomposição lenta apresentaram efeitos nas condições físicas do solo, enquanto aqueles com decomposição rápida disponibilizam grandes quantidades de nutrientes às plantas nos estádios iniciais de crescimento (TIAN et al., 1993). Além da disponibilização dos nutrientes, os resíduos reduzem os processos de lixiviação, adsorção de nutrientes, erosão e compactação do solo, reduzindo também a densidade e a resistência do solo à penetração das raízes; aumenta a capacidade de retenção de água, o pH do solo e a capacidade de troca de cátions (ZECH et al., 1997; MELLO e VITTI, 2002; MOSADDEGHI et al., 2009).

Pimentel et al. (2009) estudando doses de um composto orgânico (70% de capim Napier, 10% de restos de culturas e 20% de esterco bovino), verificaram que a adição deste composto no solo proporcionou aumento nos teores de P, K, Ca, Mg e no valor do pH do solo. Araujo et al. (2008) avaliando as melhorias nas propriedades químicas do solo após a aplicação de diferentes fontes de matéria orgânica, verificaram que a adição de esterco de galinha e de esterco bovino no solo resultou no aumento dos teores de fósforo e potássio no solo, respectivamente.

Resíduos orgânicos provenientes de atividades agroindustriais normalmente são utilizados como fonte de nitrogênio, entretanto, nos últimos anos tem sido realizadas pesquisas com o objetivo de avaliar os potenciais de alguns resíduos como fontes de fósforo (CAVALLARO JÚNIOR et al., 2009; ARAÚJO, 2011; MELO et al. 2011).

A importância do uso dos resíduos como fonte de fósforo é baseada nos problemas relacionados com este elemento nos solos, principalmente aqueles com maior teor de argila. Segundo Farias et al. (2009), o fósforo é adsorvido aos colóides dos solos, especialmente os óxidos de ferro e alumínio, como também podem precipitar com íons de ferro e alumínio na solução do solo, o que reduz a disponibilidade do mesmo para as plantas. Com a adição de fontes de matéria orgânica ao solo, ocorre um aumento nas formas mais lábeis de fósforo, tornando esse nutriente mais disponível para as plantas, por causa da redução no processo de adsorção (TIRITAN et al., 2010), uma vez que, a matéria orgânica pode bloquear os sítios de adsorção deste elemento em virtude da alta afinidade com estes sítios, disponibilizando uma maior concentração de fósforo na solução do solo (SANYAL e DE DATTA, 1991; PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Com ênfase na importância do uso de resíduos orgânicos na agricultura, diversos agricultores têm utilizado resíduos que são produzidos na própria propriedade como adubos sem a correta definição de doses mais adequadas para cada situação. Segundo Dias et al. (2010) uma das atividades que gera uma grande quantidade de resíduos é a cafeicultura, e estes se apresentam como alternativas no fornecimento de nutrientes às plantas.

O município de Garanhuns – PE é uma região produtora de café, que segundo o IBGE (2011) no ano de 2011 foram produzidos 100 toneladas de grãos e conseqüentemente uma grande quantidade de resíduos, os quais apresentam potencial para serem utilizados na agricultura. Desta forma, é importante o conhecimento da composição química dos mesmos e da capacidade do fornecimento de nutrientes, além da melhoria das propriedades químicas e físicas que podem proporcionar aos solos. Entretanto, pesquisas desenvolvidas com uso de resíduos agroindustriais de café como adubo na agricultura são escassas, neste contexto.

Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a liberação de nutrientes de um subproduto agroindustrial de café incorporado em dois solos com texturas distintas.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE), localizada no Agreste do Estado de Pernambuco, coordenadas geográficas Latitude 8° 53' Sul, Longitude 36° 31' Oeste e altitude de 823 m. O clima predominante na região é o tropical chuvoso, com verão seco; e a estação chuvosa no período outono/inverno e início da primavera (BORGES JÚNIOR et al., 2012).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, no arranjo fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto, totalizando 16 tratamentos, em 5 repetições, perfazendo um total de 80 unidades experimentais. As doses do subproduto de café foram baseadas na recomendação de P para a cultura do milho no Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Foram aplicadas doses crescentes, equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% da quantidade total de P recomendada para a cultura do milho (Tabela 1).

Tabela 1. Doses de subproduto e quantidades equivalentes de P, K, Ca e Mg aplicados nos solos pelos tratamentos

| Dose | Dose | Proporção ¹ | K | P | Ca | Mg |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------|--------|-------|
| t ha ⁻¹ | g vaso ⁻¹ | % | mg vaso ⁻¹ | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3,63 | 15,11 | 10 | 43,82 | 29,92 | 10,22 | 3,86 |
| 10,88 | 45,34 | 30 | 131,49 | 89,77 | 30,68 | 11,58 |
| 18,14 | 75,57 | 50 | 219,15 | 149,63 | 51,13 | 19,30 |
| 29,02 | 120,91 | 80 | 350,64 | 239,40 | 81,81 | 30,88 |
| 43,53 | 181,37 | 120 | 525,97 | 359,11 | 122,71 | 46,32 |
| 58,04 | 241,82 | 160 | 701,28 | 478,80 | 163,61 | 61,76 |
| 72,55 | 302,28 | 200 | 876,61 | 598,51 | 204,52 | 77,20 |

¹Proporção do total de P recomendado para o milho (IPA, 2008) e fornecido pelo subproduto.

Foram utilizados dois solos com diferentes teores de argila, uma da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Amarelo, sob o qual se encontrava o cultivo de pastagem; e uma de horizonte subsuperficial (20-40 cm) de um Argissolo Amarelo, sob vegetação nativa.

As amostras de solos foram secas ao ar e peneirados em malha de 4,0 mm para a montagem do experimento, sendo retiradas subamostras, que foram peneiradas em malha de 2 mm para a caracterização química e física (Tabela 2). Após o preparo, os solos foram acondicionados em vasos de 10 litros, perfurados na base para permitir a drenagem do excesso de água, sendo o fundo do vaso forrado com uma tela de nylon para evitar perdas de solo.

Tabela 2. Caracterização química e física das amostras de solo utilizadas no experimento

| Característica | Amostra | |
|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| | Latossolo | Argissolo |
| pH _{H2O} (1:2,5) | 5,84 | 4,42 |
| pH _{KCl} (1:2,5) | 4,87 | 3,80 |
| P (mg dm ⁻³) | 1,18 | 0,08 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,05 | 0,08 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,25 | 0,20 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,25 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,017 | 0,004 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,1 | 1,0 |
| Areia (g kg ⁻¹) | 852,1 | 404,8 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 107,9 | 135,2 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 40,0 | 460 |
| Ds ¹ (g cm ⁻³) | 1,7 | 1,2 |
| Dp ² (g/cm ³) | 2,78 | 2,44 |
| PT ³ (%) | 38,85 | 50,82 |
| CC ⁴ (g g ⁻¹) | 0,113 | 0,227 |
| PMP ⁵ (g g ⁻¹) | 0,023 | 0,136 |

¹Densidade do solo; ² Densidade da partícula; ³ Porosidade total; ⁴Umidade na capacidade de campo; ⁵Umidade no ponto de murcha permanente.

Na caracterização física foram determinadas a composição granulométrica pelo método do densímetro (RUIZ, 2005); capacidade de campo e ponto de murcha permanente, pelo extrator de Richards; densidade do solo pelo método da proveta;

densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; calculou-se a porosidade total com a densidade do solo e densidade de partículas (EMBRAPA, 1997).

O subproduto utilizado foi obtido na fábrica “Café Ouro Verde”, sendo composto por casca de café, grãos triturados e outras impurezas. O mesmo foi moído e, posteriormente, foi tomada uma subamostra para a determinação da composição química, por meio da digestão nitro-perclórica e determinação dos elementos P, K, Ca e Mg. Além destes, foi determinado a relação C/N. O Ca^{+2} e Mg^{+2} foram determinados por absorção atômica, o P por calorimetria e o K^{+} por fotometria de emissão de chama (EMBRAPA, 2009) (Tabela 3). O N foi determinado pelo método da Embrapa (2009) e o carbono orgânico pelo método de Bezerra Neto e Barreto (2011).

Tabela 3. Composição química do subproduto de café utilizado no experimento

| Nutriente | Teor |
|-------------|----------------------|
| | dag kg ⁻¹ |
| P | 0,198 |
| K | 0,290 |
| Ca | 0,067 |
| Mg | 0,025 |
| Relação C/N | 12,45 |

Para a correção do pH foi aplicado calcário nos solos, sendo os cálculos baseados no método de Pernambuco (IPA, 2008), tendo como fonte de CaCO_3 o carbonato de cálcio p.a. No Argissolo Amarelo foi adicionada a dose de 18 g vaso⁻¹ de CaCO_3 e no Latossolo Amarelo 8 g vaso⁻¹ CaCO_3 , correspondendo às doses de 4,3 e 2,7 t ha⁻¹, respectivamente.

O subproduto foi incorporado aos solos nos vasos juntamente com o calcário, homogeneizando-se e ajustando-se a umidade a 70% da capacidade de campo, deixando-se as amostras incubadas em casa de vegetação por 125 dias.

Para a determinação da capacidade de campo, os vasos com os solos foram colocados em um recipiente, imersos em água por 24 horas, para que houvesse o umedecimento do solo até a saturação por movimento capilar ascendente. Após este período, os vasos foram retirados e deixados para drenar livremente, passado o tempo de drenagem, foram pesados para aferição da capacidade de campo. Com base nestes valores, durante a incubação, o controle da umidade foi realizado por pesagem dos vasos diariamente.

Para a avaliação da liberação de elementos a partir do subproduto aplicado aos solos, foram tomadas amostras de todas as unidades experimentais a cada 30 dias, perfazendo um total de quatro subamostras, para determinações subseqüentes.

As variáveis analisadas foram as características químicas do solo, sendo o pH em água e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ e P.

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos em solução de KCl 1 mol L⁻¹, sendo o Al^{3+} dosado por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹; Ca^{2+} e o Mg^{2+} por titulometria com EDTA 0,0125 mol L⁻¹. Já os teores de P e K^+ foram extraídos com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), sendo o P dosado por colorimetria e o K^+ por fotometria de emissão de chama. Estas análises foram realizadas de acordo com Embrapa (2009).

Os resultados das variáveis dependentes foram submetidos à análise da variância e, sendo significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para o fator solo. Para o fator dose, quando significativo, foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa de estatística Sisvar (FERREIRA, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH foi influenciado apenas pelo fator solo (Tabela 4) e seus valores aumentaram com a aplicação de calcário em relação aos solos antes da incubação (Tabela 2), resultado já previsto, uma vez que o calcário reage no solo aumentando o pH (SORATTO e CRUSCIOL, 2008). Na dissolução do calcário ocorre a liberação de hidroxilas e íons bicarbonatos, os quais reagem com os íons Al^{3+} e H^+ , neutralizando-os e aumentando o pH (MORAES et al., 1998).

Além disso, a adição de subproduto orgânico ao solo também pode ter proporcionado aumento no pH. Ao avaliarem as alterações no pH e na matéria orgânica do solo após a aplicação de resíduo de algodão compostado, Ramos et al. (2009) concluíram que a disposição deste resíduo aumentou o pH e a matéria orgânica do solo.

Tabela 4. Valores de pH em água dos solos em função do tempo de incubação

| Solo | Tempo em dias | | | | |
|-------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 125 |
| Argissolo Amarelo | 4,42 | 6,94 B | 6,37 B | 5,90 B | 6,08 B |
| Latossolo Amarelo | 5,84 | 8,37 A | 8,00 A | 7,83 A | 8,28 A |
| CV (%) | | 4,89 | 9,20 | 9,40 | 4,41 |

* Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey (P=0,05) dentro de cada tempo de amostragem do solo.

Sodré et al. (2012) também observaram aumento no pH quando avaliaram a aplicação de extrato da casca do fruto de cacaueteiro como adubo potássico. Os mesmos autores verificaram redução no teor de alumínio, em virtude do aumento do pH e da complexação do mesmo por componentes orgânicos, redução esta que também foi verificada no presente trabalho.

Os valores de pH do Latossolo Amarelo foram significativamente maiores quando comparados aos do Argissolo Amarelo, demonstrando o seu reduzido poder tampão pelo baixo teor de argila do Latossolo (Tabela 2). Nogueira et al. (2012), avaliando os efeitos nas características químicas de dois solos pela aplicação de dois resíduos industriais, observaram que o solo com 34,9% de argila possui uma menor capacidade tampão de pH em relação ao solo com 46,16% de argila. No presente estudo, a amostra do Argissolo Amarelo apresentou 460 g kg⁻¹ de argila e a do Latossolo Amarelo apenas 40 g kg⁻¹, com isto, o poder tampão e, conseqüentemente, a resistência a mudanças do pH do Argissolo são maiores do que no Latossolo.

Observou-se que aos 30 dias após a aplicação de calcário houve um grande incremento no valor de pH, independente do solo, com um decréscimo nas observações aos 60 e 90 dias (Tabela 4). O aumento no pH do solo nos primeiros 30 dias ocorreu em virtude da solubilização inicial do calcário, liberando hidroxilas para neutralização dos íons H⁺ presentes na solução dos solos. Adicionalmente, a decomposição do subproduto orgânico no solo pode ter contribuído para esta elevação de pH, pois, conforme Pavinato e Rosolem (2008), a atividade de microrganismos nos resíduos orgânicos promovem a descarboxilação de ânions orgânicos, consumindo prótons, resultando no aumento do pH do solo. Enquanto o decréscimo no pH nos períodos subsequentes, deve ter ocorrido em virtude da tendência do solo de estabilizar o pH pela liberação de cátions ácidos retidos de maneira trocável nos coloides dos solos.

No entanto, aos 125 dias foi observado outro acréscimo nos valores de pH dos solos. Este aumento pode ter ocorrido com a liberação de ácidos orgânicos pelo sistema radicular, os quais tem a capacidade de complexar o alumínio, aumentando o pH (ABICHEQUER et al., 2003; NOGUEIRA et al., 2012).

Ao se analisar os teores de Mg^{2+} nos diferentes tratamentos, observou-se que o mesmo não sofreu alteração após a utilização do subproduto de café, verificando-se que não houve efeito significativo ($P=0,05$) para os fatores dose e solo.

Com relação aos teores de Ca^{2+} no solo, foi observado efeito significativo ($P=0,05$) apenas para o fator solo em todos os períodos avaliados (Tabela 5). Segundo Alleoni et al. (2005), a aplicação de calcário, além de aumentar os valores de pH do solo, também contribui com o aumento dos teores de Ca^{2+} trocável no solo. Diante disto, pode-se afirmar que esse aumento nos teores de Ca^{2+} foi proveniente da aplicação do calcário nos solos e não devido às doses do subproduto de café, já que não foi observado efeito significativo para o fator dose.

Sabe-se que o subproduto de café também apresenta cálcio em sua composição química (Tabela 3), o qual pode ser liberado para o solo através dos processos de decomposição e mineralização do subproduto, porém a alteração observada nos teores de Ca^{2+} no solo deve ter sido em função da aplicação do calcário. O aumento dos teores de Ca^{2+} trocável em função da calagem também foi observado por outros autores (DIEHL et al., 2008; SANTOS et al., 2010).

Tabela 5. Teores de Ca^{2+} nos solos em função do tempo de incubação

| Solo | Tempo em dias | | | | |
|-------------------|------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | 125 |
| | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | |
| Argissolo Amarelo | 0,25 | 1,650 A | 1,750 A | 1,925 A | 1,900 A |
| Latossolo Amarelo | 0,18 | 1,000 B | 1,025 B | 1,150 B | 1,050 B |
| CV (%) | | 21,71 | 22,79 | 20,4 | 20,56 |

* Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P=0,05$) dentro de cada tempo de amostragem do solo.

Verificou-se que os teores de Ca^{2+} trocável foram significativamente superiores no Argissolo Amarelo (Tabela 5), ocorrendo um aumento gradativo com o tempo de incubação dos solos no decorrer do período de avaliações. Observou-se, também, que os

maiores teores de cálcio ocorreram aos 90 dias e que aos 125 dias houve uma redução nos teores deste elemento no solo, provavelmente, em virtude da absorção do mesmo pela planta.

Segundo Ribeiro et al.(1999), teores de Ca^{2+} entre 1,21 a 2,40 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ estão em uma faixa considerada média, e valores entre 0,41 a 1,20 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, são considerados valores baixos de cálcio. Portanto, pode-se afirmar que os teores de cálcio observados no Argissolo Amarelo estão na faixa considerada média e os observados no Latossolo Amarelo estão na faixa considerada baixa (Tabela 5).

Nogueira et al. (2012), avaliando os efeitos nas características químicas de dois solos após a aplicação de dois resíduos industriais, verificaram que o solo com maior teor de argila apresentou maiores teores de cálcio, resultados similares aos encontrados no presente estudo. Ainda segundo estes mesmos autores, um solo com maior teor de matéria orgânica tem um maior efeito tampão de cálcio, o qual está relacionado com uma maior resistência a mudanças de uma determinada variável, sendo assim, os valores de cálcio são superiores neste solo.

Sodré et al. (2012), estudando diferentes doses de extrato da casca do fruto de cacaueteiro como adubo potássico no solo, verificaram que este resíduo proporcionou aumento no teor de cálcio no solo após 120 dias da aplicação do extrato. Kasongo et al. (2011), estudando as alterações na fertilidade de um solo arenoso com adição de resíduo de café, observaram uma pequena diferença nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos solos com aplicação de resíduo em relação ao controle.

Na Figura 1 estão apresentados os resultados dos teores de K trocável nos diferentes tratamentos avaliados. A disponibilidade de K^+ pelo subproduto de café apresentou aumento gradativo em relação ao período de incubação. Aos 30 dias, verificou-se que o aumento das doses do subproduto de café promoveu uma maior disponibilidade de potássio, independente do solo avaliado. No período de 60 dias, o comportamento de potássio no solo foi melhor descrito por curvas polinomiais, para os dois solos avaliados, demonstrando que o aumento das doses do subproduto de café proporciona um aumento nos teores de K^+ no solo.

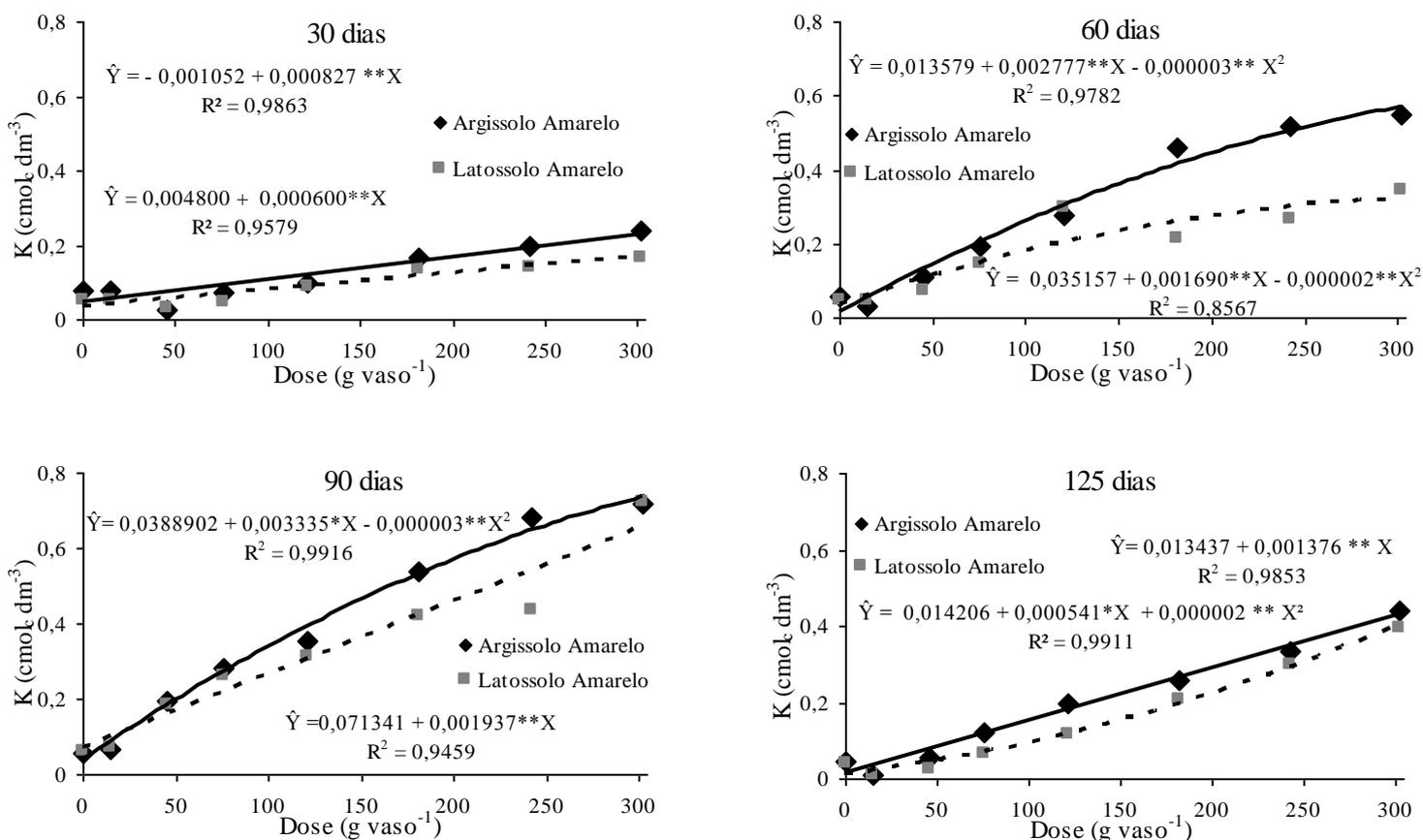


Figura 1. Teores de K^+ trocável no solo em função das doses de subproduto de café aplicadas nos dois solos e avaliadas em quatro períodos.

Os teores de K^+ nos solos aumentaram com o avanço do processo de decomposição e mineralização do subproduto de café e o pico da liberação deste elemento no solo ocorreu aos 90 dias de incubação. Aos 125 dias houve uma diminuição dos teores de K^+ nos dois solos, o que pode ser atribuído ao consumo do mesmo pelas plantas de milho que foram cultivadas dos 90 aos 125 dias.

As curvas linear e polinomial foram as que representaram de melhor forma os teores de K^+ no Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, respectivamente, no período de 90 dias. Verifica-se que, à medida que aumenta as doses do subproduto de café no solo ocorre um aumento nos teores de K^+ no mesmo. Estes dados demonstram o potencial deste subproduto orgânico como fonte de potássio para a planta. Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com os obtidos por Higashikawa et al. (2010) que, ao avaliarem os conteúdos de nutrientes presentes em diferentes resíduos

orgânicos, verificaram que o resíduo de casca de café apresentou maior concentração de potássio quando comparado aos demais resíduos estudados.

Observou-se que os teores de K^+ no Argissolo Amarelo foram superiores ao encontrados no Latossolo Amarelo, apesar dos teores nos dois solos serem muito próximos antes da aplicação do subproduto (Tabela 2). Isto pode ter ocorrido em virtude deste nutriente ser suscetível ao processo de lixiviação, especialmente em solos de textura mais grosseira, como o Latossolo. Werle et al. (2008), avaliando a lixiviação de K^+ em um solo de textura argilosa (48% de argila) e outro de textura média (21% de argila), verificaram que o solo de textura média, mais arenoso, apresentou maior intensidade de lixiviação quando comparado ao solo de textura argilosa. Os autores explicam que o solo de textura argilosa apresentou uma maior capacidade de reter este nutriente em virtude da maior CTC. Conforme Rosolem et al. (2006) e Albuquerque et al. (2011), o processo de lixiviação do K^+ é dependente da concentração deste nutriente na solução do solo, a qual é influenciada pela CTC e a força de adsorção desse nutriente pelo solo; apresentando o solo arenoso e de baixa CTC uma maior predisposição para as perdas de K^+ por este processo.

Kasong et al. (2011) verificaram que a aplicação de doses crescentes de resíduo de café em um solo arenoso, proporcionou aumento significativo dos teores de K^+ no solo, pois este resíduo apresenta na sua composição química teores de potássio elevado. Além disso, os autores comentam que a aplicação deste resíduo proporcionou uma redução nas perdas de potássio por lixiviação, o que também pode ter ocorrido no presente estudo.

Os teores de P disponível nos dois solos de textura diferente em função das doses crescentes do subproduto de café e tempos de avaliação encontram-se na Figura 2. Observa-se que os teores de P no Argissolo Amarelo tiveram um aumento linear em função das doses do subproduto de café nas quatro avaliações, demonstrando que as doses utilizadas ainda não foram suficientes para atingir o ponto de inflexão da curva de P disponível no solo, provavelmente, em função da elevada capacidade deste solo em adsorver P, pelo alto teor de argila deste solo. Por outro lado, verificou-se que os teores de P disponível nos períodos de amostragem permaneceram praticamente os mesmos, o que também pode indicar uma indisponibilização deste elemento assim que entra em contato com a matriz do solo logo após a liberação deste pelo subproduto.

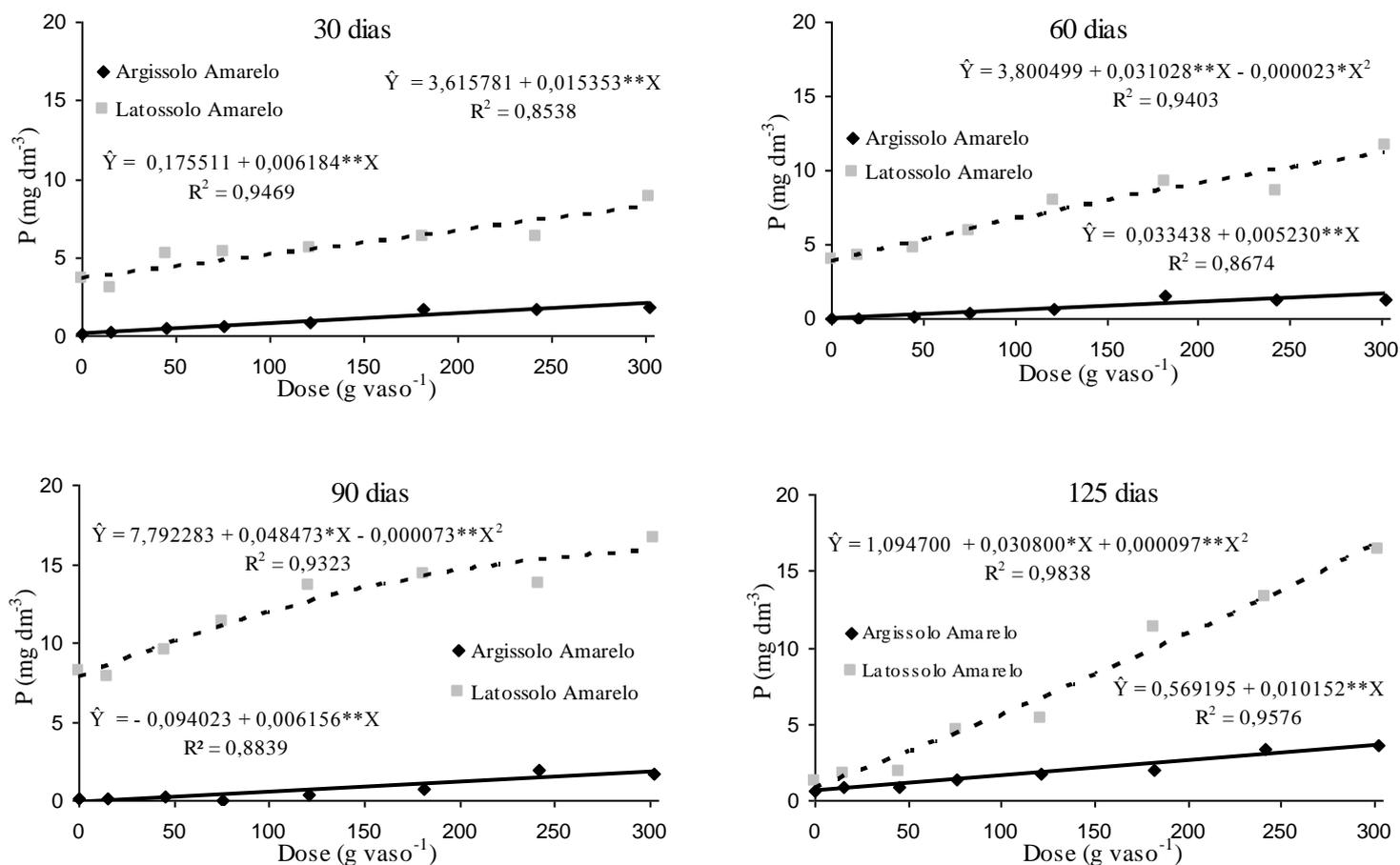


Figura 2. Teores de P disponível no solo em função das doses de subproduto de café aplicadas nos dois solos e avaliadas em quatro tempos.

No Latossolo Amarelo observou-se acréscimo dos teores de fósforo disponível em função das doses crescentes do subproduto de café (Figura 2). Aos 30 dias, a equação linear foi a que melhor representou o aumento nos teores de fósforo no solo, enquanto aos 60 e 90 dias foram as curvas polinomiais. Verificou-se uma liberação gradual do fósforo disponível no solo durante os períodos avaliados, ocorrendo aos 90 dias o pico de liberação deste elemento pelo subproduto de café e um decréscimo aos 125 dias, pelo consumo do mesmo por parte das plantas cultivadas a partir dos 90 dias.

Ourives et al. (2010), avaliando um composto orgânico como fonte de P, observaram que os teores de P disponível no solo aumentaram com o aumento das doses do composto orgânico.

Inversamente ao que houve com o K^+ , observou-se que os teores de fósforo no Argissolo Amarelo foram inferiores aos encontrados no Latossolo Amarelo. Provavelmente, este comportamento está relacionado ao teor de argila no solo, pois, de

acordo com Machado et al. (2011), Idris e Ahmed (2012), Machado e Souza (2012), o teor e o tipo de argila são as principais propriedades do solo que influenciam o processo de adsorção de P e, conseqüentemente, uma maior ou menor disponibilidade deste elemento no solo. Os solos arenosos apresentam uma maior disponibilidade de P, pois estes possuem uma menor capacidade de adsorção de P, em virtude dos baixos teores de argila, o que não ocorre em solos argilosos. Diante disto, no presente estudo, o Argissolo Amarelo, com 460 g kg^{-1} de argila, teve uma menor disponibilidade do P para a solução do solo, ao contrário do que foi observado no Latossolo Amarelo, que possui 40 g kg^{-1} de argila.

Aos 125 dias de incubação, os teores de P disponível foram melhores representados pela curva linear e polinomial, no Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo, respectivamente.

A carga superficial de argila é dependente do pH, reduzindo a capacidade de troca aniônica do solo quando o pH aumenta, resultando em uma maior disponibilidade de P, pois com o aumento do pH ocorre uma redução nas cargas positivas e aumento nas cargas negativas nos complexos de troca, neutralizando o Al, resultando na redução da precipitação de P com este elemento (P-Al), tornando-o mais disponível na solução do solo (ERNANI et al., 1996; IDRIS e AHMED, 2012). Apesar do aumento na precipitação de P ligado a Ca^{2+} em solos com o aumento do pH, os valores de P disponível cresceram aos 125 dias de incubação dos solos.

Agyarko e Asiedu (2012), estudando o efeito da adição de casca de cacau e esterco de galinha e suas combinações como fontes de nutrientes para o solo no crescimento de pepino, verificaram que a adição destes adubos orgânicos proporcionou aumento significativo nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^+ no solo. Observaram, também, que a aplicação isolada destes adubos orgânicos disponibilizaram quantidades diferentes de nutrientes, pois o solo com esterco de galinha teve maior concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e P, enquanto o solo com a casca de cacau maior teor de K^+ . Os autores explicam que estes teores no solo estão relacionados à composição química de cada fonte de adubo orgânico.

Diante do exposto, verificou-se que o subproduto de café tem baixo potencial como fonte de fósforo para solos intemperizados com elevados teores de argila e altas capacidades de adsorção de P, pois seriam necessárias doses muito maiores das que

foram utilizadas para alcançar teores considerados adequados. Por outro lado, em solos mais arenosos, como o Latossolo Amarelo estudado, a aplicação do subproduto de café forneceu P em teores crescentes com as doses aplicadas, podendo ser utilizado como fontes deste nutriente para as plantas.

4. CONCLUSÕES

- As doses do subproduto de café aplicadas não influenciaram os teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} nos solos;
- A aplicação do subproduto de café promoveu aumento nos teores de K^+ trocável nos solos, especialmente no Argissolo Amarelo;
- A maior disponibilização do K^+ pelo subproduto de café ocorreu aos 90 dias da incubação;
- Os maiores teores de P disponível foram encontrados no Latossolo Amarelo e o período de maior liberação deste elemento ocorreu aos 90 dias;
- O subproduto de café demonstrou ter baixo potencial como fonte de P para o Argissolo Amarelo, porém apresentou um alto potencial como fonte de K^+ ao solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 373-378, 2003.

AGYARKO, K.; ASIEDU, E. K. Cocoa pod husk and poultry manure on soil nutrients and cucumber growth. **Advances in Environmental Biology**, v.6, p. 2870-2874, 2012.

ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, A. E. R.; ROLIM, M, M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio¹. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 135-144, 2011.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 923-934, 2005.

ANDRADE, A. R. S.; MACHADO, C. B.; VILELA, E. L.; CAMÊLO, D. L.; SILVA, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um Latossolo Amarelo submetido à adubação orgânica. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, p.137–151, 2011.

ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 355-360, 2011.

ARAUJO, L. C.; SANTOS, A. C.; FERREIRA, E. M.; CUNHA, O. F. R. Fontes de matéria orgânica como alternativa na melhoria das características químicas do solo e produtividade do capim-mombaça. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 6, p. 65-72, 2008.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária

para a microrregião de Garanhuns, PE¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.380–390, 2012.

CAVALLARO JÚNIOR, M. L.; TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; KUHN NETO, J.; TIVELLI, S. W. Produtividade de rúcula e tomate em função da adubação N e P orgânico e mineral. **Bragantia**, v.68, p.347-356, 2009.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; HIGASHIKAWA, F. S.; ROIG, A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. **Bioresource Technology**, v. 101, p.1239–1246, 2010.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2653-2659, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.

ERNANI, P. R.; FIGUEIREDO, O. R. A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de P pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.159-162, 1996.

FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. I –Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.623-632, 2009.

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

HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1742-1752, 2010.

IDRIS, O. A. A.; AHMED, H. S. Phosphorus sorption capacity as a guide for phosphorus availability of selected Sudanese soil series. **African Crop Science Journal**, v. 20, p. 59 – 65, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Lavoura Permanente 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 25 de Maio de 2013.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212p.

KASONGO, R. K.; VERDOODT, A.; KANYANKAGOTE, P.; BAERT, G.; VAN RANST, E. Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. **Soil Use and Management**, v.27, p.94 - 102, 2011.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 70-76, 2011.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 1-7, 2012.

MELO, J. C.; SANTOS, P. M.; SANTOS, A. C.; ALEXANDRINO, E.; PAULA NETO, J. J. Respostas morfofisiológicas do capim-mombaça submetido a doses de resíduo líquido de laticínios. **Revista Ciência Agrárias**, v.54, p.247-258, 2011.

MELLO, S.C.; VITTI, G.C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 200 – 206, 2002.

MORAES, J. F. L. ; BELLINGIERI, P. A. ;FORNASIERI FILHO, D.; GALON, J. A. Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agrícola**, v. 55, 1998.

MOSADDEGHI, M. R.; MAHBOUBI, A. A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil and Tillage Research**, v.104, p.173-179, 2009.

NOGUEIRA, N. O.; TOMAZ, M. A.; ANDRADE, F. V. ; REIS, E. F.; BRINATE, S. V. B. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café arábica¹. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 11-21, 2012.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA, G. M.; TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú¹. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 126-132, 2010.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

PIMENTEL, M. S.; DE-POLLI, H.; LANA, A. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 225-232, 2009.

RAMOS, S. J.; ALVES, D. S.; FERNANDES, L. A.; COSTA, A. Rendimento de feijão e alterações no pH e na matéria orgânica do solo em função de doses de composto de resíduo de algodão. **Ciência Rural**, v.39, p.1572-1576, 2009.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 813-819, 2006.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SANTOS, A. C.; VILELA, L. C.; BARRETO, P. M.; CASTRO, J. G. D.; SILVA, J. E. C. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 77-83, 2010.

SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, v.16, p.1-120, 1991.

SODRÉ, G. A.; VENTURINI, M.T.; RIBEIRO, D. O; MARROCOS, P. C. L._ Extrato da casca do fruto do cacaueteiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacaueteiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, p. 881-887, 2012.

SORATTO, R. P. ; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 675-688, 2008.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 731-737, 1993.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v.6, p.01-07, 2010.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo¹. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p. 2297-2305, 2008.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p. 117-161, 1997.

CAPÍTULO II

INDICADORES BIOLÓGICOS DE DOIS SOLOS COM A INCORPORAÇÃO DE SUBPRODUTO DA AGROINDÚSTRIA DE CAFÉ

RESUMO

A adição de resíduos orgânicos no solo pode ocasionar mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo, influenciando a atividade e a utilização do carbono pelos microrganismos presentes no solo. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de doses crescentes de subproduto da agroindústria de café nos atributos biológicos de dois solos com diferentes teores de argila em diferentes tempos de incubação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, distribuído em esquema fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto de café. As doses crescentes do subproduto de café foram equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% do total de P recomendado para a cultura do milho. Foi feita a incorporação do subproduto aos solos, que foram incubados antes do plantio, realizando-se coletas de subamostras aos 30, 60 e 90 dias (sem as plantas) e aos 125 dias de incubação (com as plantas). Nestas, foram realizadas as determinações do carbono da biomassa microbiana (C-CBM), respiração basal microbiana (RBM), carbono orgânico total (COT) e carbono solúvel em água (CSA). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para o fator solo e para o fator dose foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. O C-CBM apresentou comportamento semelhante nos períodos de 30, 60 e 90 dias, no Latossolo Amarelo; enquanto no Argissolo Amarelo o C-CBM aumentou com o tempo de incubação. Aos 125 dias, houve uma redução no C-CBM com o aumento das doses de subproduto de café. A RBM e o quociente metabólico (qCO_2) tiveram maiores valores no período de 30 dias e, neste período, houve a maior diferença entre os solos estudados, sendo os maiores valores encontrados no Argissolo Amarelo. Foram observados maiores valores para o COT no Argissolo Amarelo, ao contrário do que ocorreu para o quociente microbiano ($qMic$), que foi superior no Latossolo Amarelo. Os maiores valores de CSA foram encontrados no período de 30 dias para o Argissolo Amarelo, enquanto no Latossolo Amarelo, os valores de CSA tiveram comportamento diferenciado em cada período avaliado.

Palavras-chave: adubação orgânica, biomassa microbiana, atividade microbiana.

ABSTRACT

The addition of organic residue in the soil may occasion changes in the dynamics of soil organic matter, influencing the activity and the use of carbon by microorganisms in the soil. Before that, this study aimed to evaluate influence of the application of increasing sources from a coffee agroindustrial byproduct in biological attributes of two soils with different clay with the incubation time. The experimental design was a randomized block with factorial scheme 2 x 8, two solos and eight sources of byproduct of coffee. The increasing sources of the coffee byproduct were equivalent to 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 and 200% of the total of P recommended for corn. The byproduct was incorporated soils, were incubated before plantation, carrying out of subsamples collected at 30, 60 and 90 days (plants without), and at 125 days of incubation (with plants). These, were performed the determinations of microbial biomass carbon (C-MBC), microbial respiration (RBM), total organic carbon (COT) and water-soluble carbon (CSA). The results were submitted to analysis of variance and, when significant, the averages were compared by Tukey, for the soil factor and the factor dose was adjusted regression equations of the dependent variables as a function of dose applied. The C-CBM showed similar behavior in periods of 30, 60 and 90 days in the Oxisol, while C-CBM in the Ultisol increased with time of incubation. At 125 days, there were a reduction in the C-CBM with increasing sources of coffee byproduct. The RBS and metabolic quotient (qCO_2) had higher values during the 30 days and, this period, there the biggest difference between the soils, being the highest values found in the Ultisol. Were observed higher values to the COT in the Ultisol, contrary to what occurred to the microbial quotient ($qMic$), which was higher in Oxisol. The higher values of CSA were found in period 30 days for the Ultisol, while in the Oxisol, the values of CSA had differential behavior in each period.

Keywords: organic fertilization, microbial biomass, microbial activity.

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica da matéria orgânica pode ser alterada pelo manejo do solo e pela adição de resíduo orgânico ao solo, os quais influenciam os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, sendo a biomassa microbiana considerada o compartimento da matéria orgânica do solo mais sensível aos efeitos do manejo (LEITE et al., 2003). Esta é responsável pelos processos de mineralização e decomposição de resíduo orgânico, pois a mesma utiliza estes resíduos como fonte de nutrientes e energia para a formação e desenvolvimento de suas células, o que pode tornar estes nutrientes indisponíveis às plantas em períodos restritos. O tempo de vida da biomassa microbiana é curto e, após a morte dos microrganismos, estes nutrientes são rapidamente liberados para o solo (ASSIS et al., 2003; CARNEIRO et al.; 2008; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008).

A biomassa microbiana e a sua atividade têm sido utilizadas como indicativos de alterações no manejo do solo (DEBOSZ et al., 2002). Também, a respiração basal microbiana reflete a velocidade de decomposição de um resíduo orgânico adicionado ao solo, sendo a atividade e a biomassa microbiana alterada conforme a qualidade e a quantidade dos resíduos depositados sobre solo. Quando esta atividade microbiana é alta ocorre uma maior decomposição e, conseqüentemente, liberação de nutrientes para as plantas, porém também pode significar perdas de carbono do solo, em longo prazo (SEVERINO et al., 2004; SOUZA et al., 2010).

Outro indicador biológico utilizado para avaliar as alterações ocorridas no solo é o carbono solúvel em água, o qual é considerado a forma mais lábil da matéria orgânica e sofre influência devido a mudanças no manejo do solo (PORTUGAL et al., 2008), sendo muito utilizado como indicativo das alterações que podem ocorrer no solo com a adição de resíduos orgânicos.

A decomposição da matéria orgânica ou do resíduo orgânico depositado no solo depende, dentre outros fatores, dos teores de argila do solo. Walpola e Arunakumara (2010) relatam que a decomposição de resíduos orgânicos geralmente é lenta em solos com maiores teores de argila. Os autores comprovaram tal fato ao estudarem a influência de solos com diferentes teores de argila na decomposição de folhas de *Gliricidia*, pois o solo com 9% de argila apresentou uma maior mineralização do carbono quando comparado ao solo com 28% de argila.

Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de doses crescentes de subproduto da agroindústria de café em atributos biológicos de dois solos com diferentes teores de argila com o tempo de incubação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE), localizada no Agreste do Estado de Pernambuco, coordenadas geográficas Latitude 8° 53' Sul, Longitude 36° 31' Oeste e altitude de 823 m. O clima predominante na região é o tropical chuvoso, com verão seco; e a estação chuvosa no período outono/inverno e início da primavera (BORGES JÚNIOR et al., 2012).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, no arranjo fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto de café, totalizando 16 tratamentos, em 5 repetições, perfazendo um total de 80 unidades experimentais. As doses do subproduto foram baseadas na recomendação de P para a cultura do milho no Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Foram aplicadas doses crescentes, equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% da quantidade total de P recomendada para a cultura do milho (Tabela 1).

Tabela 1. Doses do subproduto e quantidades equivalentes de P, K, Ca e Mg aplicados nos solos pelos tratamentos

| Dose | Dose | Proporção ¹ | K | P | Ca | Mg |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------|--------|-------|
| t ha ⁻¹ | g vaso ⁻¹ | % | mg vaso ⁻¹ | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3,63 | 15,11 | 10 | 43,82 | 29,92 | 10,22 | 3,86 |
| 10,88 | 45,34 | 30 | 131,49 | 89,77 | 30,68 | 11,58 |
| 18,14 | 75,57 | 50 | 219,15 | 149,63 | 51,13 | 19,30 |
| 29,02 | 120,91 | 80 | 350,64 | 239,40 | 81,81 | 30,88 |
| 43,53 | 181,37 | 120 | 525,97 | 359,11 | 122,71 | 46,32 |
| 58,04 | 241,82 | 160 | 701,28 | 478,80 | 163,61 | 61,76 |
| 72,55 | 302,28 | 200 | 876,61 | 598,51 | 204,52 | 77,20 |

¹Proporção do total de P recomendado para o milho (IPA, 2008) e fornecido pelo subproduto.

Foram utilizados dois solos com diferentes teores de argila, uma da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Amarelo, sob o qual se encontrava o cultivo de pastagem; e uma de horizonte subsuperficial (20-40 cm) de um Argissolo Amarelo, sob vegetação nativa.

As amostras de solos foram secas ao ar e peneirados em malha de 4,0 mm para a montagem do experimento, sendo retiradas subamostras, que foram peneiradas em malha de 2 mm para a caracterização física e química (Tabela 2). Após o preparo, os solos foram acondicionados em vasos de 10 litros, perfurados na base para permitir a drenagem do excesso de água, sendo o fundo do vaso forrado com uma tela de nylon para evitar perdas de solo.

Tabela 2. Caracterização física e química das amostras de solo utilizadas no experimento

| Característica | Amostra | |
|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| | Latossolo | Argissolo |
| pH _{ÁGUA} (1:2,5) | 5,84 | 4,42 |
| pH _{KCl} (1:2,5) | 4,87 | 3,80 |
| P (mg dm ⁻³) | 1,18 | 0,08 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,05 | 0,08 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,25 | 0,20 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,25 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,017 | 0,004 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,1 | 1,0 |
| COT ¹ (dag kg ⁻¹) | 0,68 | 1,38 |
| Areia (g kg ⁻¹) | 852,1 | 404,8 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 107,9 | 135,2 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 40,0 | 460 |
| Ds ² (g cm ⁻³) | 1,7 | 1,2 |
| Dp ³ (g cm ⁻³) | 2,78 | 2,44 |
| PT ⁴ (%) | 38,85 | 50,82 |
| CC ⁵ (g g ⁻¹) | 0,113 | 0,227 |
| PMP ⁶ (g g ⁻¹) | 0,023 | 0,136 |

¹Carbono orgânico total; ²Densidade do solo; ³Densidade da partícula; ⁴Porosidade total; ⁵Umidade na capacidade de campo; ⁶Umidade no ponto de murcha permanente.

Na caracterização física foram determinadas: a composição granulométrica pelo método do densímetro (RUIZ, 2005); a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, pelo extrator de Richards; densidade do solo pelo método da proveta; densidade das partículas pelo método do balão volumétrico; calculando-se a porosidade total com a densidade do solo e das partículas (EMBRAPA, 1997). Na caracterização química foram determinados o pH em água e em KCl e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , P e carbono orgânico total (COT), conforme Embrapa (2009).

O subproduto utilizado foi obtido na fábrica “Café Ouro Verde”, sendo composto por casca de café, grãos triturados e outras impurezas. O mesmo foi moído e, posteriormente, foi tomada uma subamostra para a determinação da composição química, por meio da digestão nitro-perclórica e determinação dos elementos P, K, Ca e Mg (EMBRAPA, 2009). Além destes, foi determinado a relação C/N. (Tabela 3). O N foi determinado pelo método da Embrapa (2009) e o carbono orgânico pelo método de Bezerra Neto e Barreto (2011).

Tabela 3. Composição química do subproduto de café utilizado no experimento

| Característica | Teor |
|----------------|----------------------|
| | dag kg^{-1} |
| P | 0,198 |
| K | 0,290 |
| Ca | 0,067 |
| Mg | 0,025 |
| Relação C/N | 12,45 |

Para a correção do pH foi aplicado calcário nos solos, sendo os cálculos baseados na neutralização do alumínio, tendo como fonte de CaCO_3 o carbonato de cálcio p.a. No Argissolo Amarelo foi adicionada a dose de 18 g vaso^{-1} de CaCO_3 e no Latossolo Amarelo 8 g vaso^{-1} CaCO_3 , correspondendo às doses de $4,3$ e $2,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

O subproduto foi incorporado aos solos nos vasos juntamente com o calcário, homogeneizando-se e ajustando-se a umidade de 70% da capacidade de campo, deixando-se incubados em casa de vegetação por 125 dias. Para a obtenção da capacidade de campo, os vasos com os solos foram colocados em uma caixa d'água, por 24 horas para que houvesse o umedecimento do solo até a saturação por movimento

capilar ascendente de água. Após este período, os vasos foram retirados e, passado o tempo de drenagem, foram pesados para aferição da capacidade de campo. Com base nestes valores, durante a incubação o controle da umidade foi realizado por pesagem dos vasos diariamente.

Para a avaliação da liberação de elementos a partir do subproduto aplicado aos solos, foram tomadas amostras de todas as unidades experimentais a cada 30 dias, perfazendo um total de quatro subamostras, para determinações subsequentes.

As variáveis analisadas foram: o carbono da biomassa microbiana (C-CBM), a respiração basal (C-CO₂), o carbono orgânico total (COT) e o carbono solúvel em água (CSA).

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo processo de irradiação-extração mediante metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Na quantificação do carbono da biomassa microbiana utilizou-se permanganato de potássio como agente oxidante e leitura das amostras em espectrofotômetro, conforme Bartlett e Ross (1988).

Para a determinação da respiração basal (RB) utilizou-se metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005), que consiste na quantidade de CO₂ evoluído a partir de 30 g de solo, incubados durante 72 horas, extraído com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e titulado com HCl 0,05 mol L⁻¹.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

O carbono solúvel em água (CSA) foi obtido pelo método de Bartlett e Ross (1988). Utilizou-se uma amostra de 10 g de solo de cada tratamento em 20 mL de H₂O, agitando-se, em seguida a suspensão por 10 min em agitador horizontal, centrifugada a 1.500 g por 10 min e, posteriormente, filtrada em papel de filtro quantitativo e determinando o carbono por colorimetria.

Com os resultados obtidos foram calculados o quociente metabólico (qCO_2) e o quociente microbiano ($qMic$). O quociente metabólico foi determinado pela razão C-CO₂ liberado/biomassa microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 1993) e o quociente microbiano ($qMic$), determinado pela expressão (CBM/COT)/10 (SPARLING, 1992).

Os resultados das variáveis dependentes foram submetidos à análise da variância e, sendo significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para o fator solo. Para dose significativa, foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa de estatística Sisvar (FERREIRA, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de subproduto de café nos solos promoveu efeito significativo ($P=0,05$) na variável carbono da biomassa microbiana (C-CBM), diferentemente para os dois solos em todos os tempos de amostragem (Figura 1). No Latossolo Amarelo, nos períodos de 30, 60 e 90 dias, verificou-se que a incorporação de doses crescentes de subproduto de café promoveu aumentos lineares no C-CBM, demonstrando que o C-CBM aumenta em função do aumento das doses.

No Argissolo Amarelo, as curvas polinomiais foram as que representaram de melhor forma o C-CBM, nos períodos de 30, 60, 90 e 125 dias. Aos 30 dias, o valor máximo foi obtido na dose estimada de $178,61 \text{ g vaso}^{-1}$, com média de $87,18 \mu\text{g g}^{-1}$. Aos 60 dias, o valor máximo de C-CBM $120,18 \mu\text{g g}^{-1}$ foi verificado na dose estimada de $178,38 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café, enquanto que aos 90 dias a melhor dose estimada foi a de $100,14 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café, com média de $142,49 \mu\text{g g}^{-1}$.

No período de 125 dias, quando a planta de milho estava cultivada nos solos, observou-se um decréscimo nos valores do C-CBM à medida que aumentavam as doses de subproduto de café no Latossolo Amarelo. No Argissolo Amarelo, a curva polinomial foi a que melhor representou os valores do C-CBM, com redução no C-CBM nas doses mais elevadas do subproduto (Figura 1).

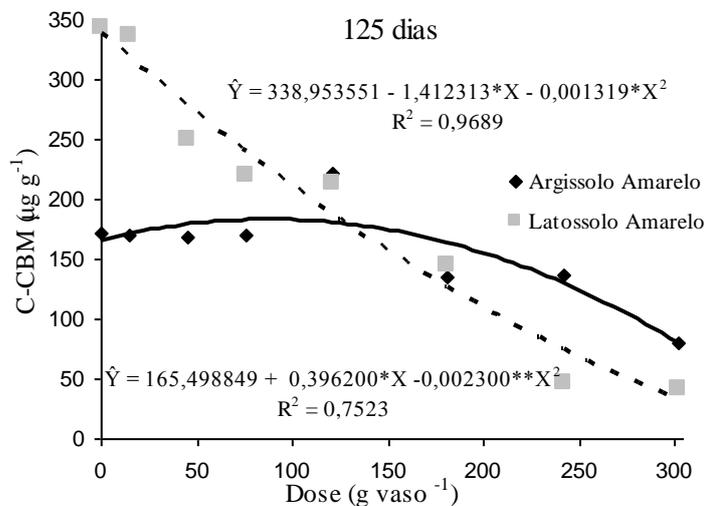
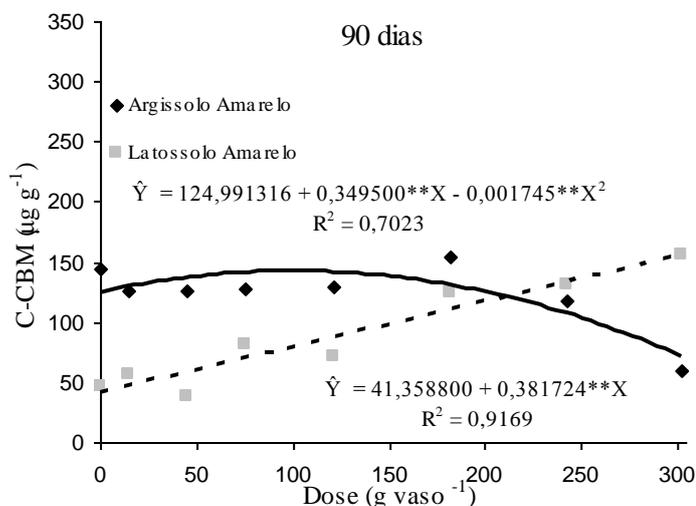
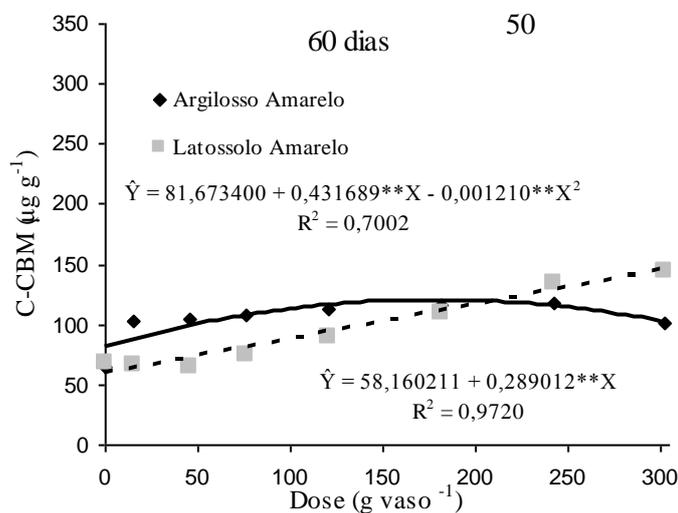
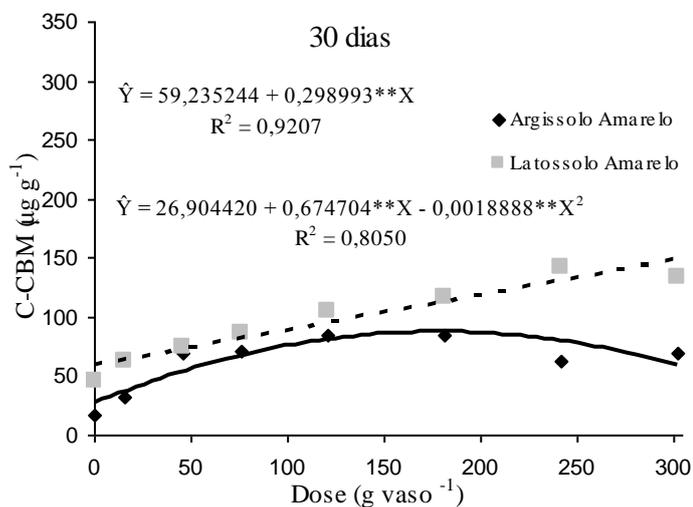


Figura 1. Carbono da biomassa microbiana (C-CBM) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

Possivelmente esta diferença do C-CBM nos solos está relacionada com a maior atividade microbiana no Argissolo Amarelo, aos 30 dias (Figura 2), indicando uma maior perda de carbono para a atmosfera na forma de C-CO₂, resultando em uma menor incorporação de carbono no tecido microbiano.

Verifica-se que o C-CBM no Latossolo Amarelo apresentou comportamento semelhante em todas as doses com o tempo de incubação, o que não foi observado no Argissolo Amarelo, o qual teve aumento no C-CBM com o tempo de incubação. Este comportamento pode estar indicando que com o aumento no tempo de incorporação do subproduto no solo os microrganismos tornam-se mais eficiente na utilização do subproduto, aumentando a quantidade de carbono incorporado no tecido microbiano e a população dos microrganismos do solo. Conforme Venzke Filho et al. (2008) e Shi e

Marschner (2012), maiores valores de carbono da biomassa microbiana são encontrados em solos com maiores teores de argila, pois estes proporcionam uma maior proteção da matéria orgânica aos agentes decompositores, diminuindo, assim, o processo de decomposição.

Foi observado um aumento no carbono da biomassa microbiana no período de 125 dias em relação ao período de 90 dias. Este comportamento, provavelmente, está relacionado com os exsudados orgânicos liberados pelas raízes das plantas de milho, os quais contêm carbono e este está sendo utilizado pela biomassa microbiana, pois, de acordo com Jakelaitis et al. (2007) e Cheng et al. (1996), a presença de uma cultura no solo pode estimular o desenvolvimento da biomassa microbiana em virtude do sistema radicular das plantas liberar exsudados orgânicos para o solo. Segundo Souza et al. (2010), a redução na liberação de exsudados resulta em uma menor biomassa microbiana.

A incorporação das doses de subproduto de café nos solos proporcionou alterações significativas ($P=0,05$) na respiração basal microbiana, nos períodos de 30, 60, 90 e 125 dias (Figura 2). No Latossolo Amarelo, as curvas polinomiais foram as que melhor representaram os valores da respiração basal microbiana em todos os períodos avaliados. Aos 30 dias, a melhor dose estimada foi a de $174,45 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café, com média de $1,60 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Aos 60 dias, a melhor dose estimada foi a de 245 g vaso^{-1} , com média de $1,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto aos 90 dias a melhor dose estimada foi a de $205,23 \text{ g vaso}^{-1}$, com média de $0,98 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

No Argissolo Amarelo, aos 30 dias, observou-se um crescimento linear da respiração basal dos microrganismos, indicando que o aumento das doses proporciona aumento da respiração microbiana. Nos demais períodos (60, 90 e 125 dias), as curvas polinomiais foram as que melhor representaram a respiração basal microbiana. Aos 60 dias, a melhor dose estimada foi a de 255 g vaso^{-1} , com média de $1,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto aos 90 dias a melhor dose estimada foi a de $236,86 \text{ g vaso}^{-1}$, com média de $1,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Verificou-se um aumento na respiração microbiana, nos dois solos avaliados, no período de 125 dias em relação aos 90 dias. Neste período, em ambos os solos, as curvas polinomiais foram as que melhor representaram a respiração microbiana do solo em função das doses e houve uma inversão entre os solos (Figura 2). A dose estimada

para o Argissolo Amarelo foi a de 135,25 g vaso⁻¹ de subproduto de café, proporcionando o máximo valor médio de C-CO₂, correspondente a 1,78 mg kg⁻¹ h⁻¹. Enquanto no Latossolo Amarelo o ponto máximo de 2,10 mg kg⁻¹ h⁻¹ foi estimado para a dose de 206,91 g vaso⁻¹ de subproduto de café. Este aumento no Latossolo Amarelo pode ter acontecido por causa da liberação de exsudados radiculares neste período, na presença das plantas de milho, superando o que ocorreu no Argissolo Amarelo, de textura mais argilosa.

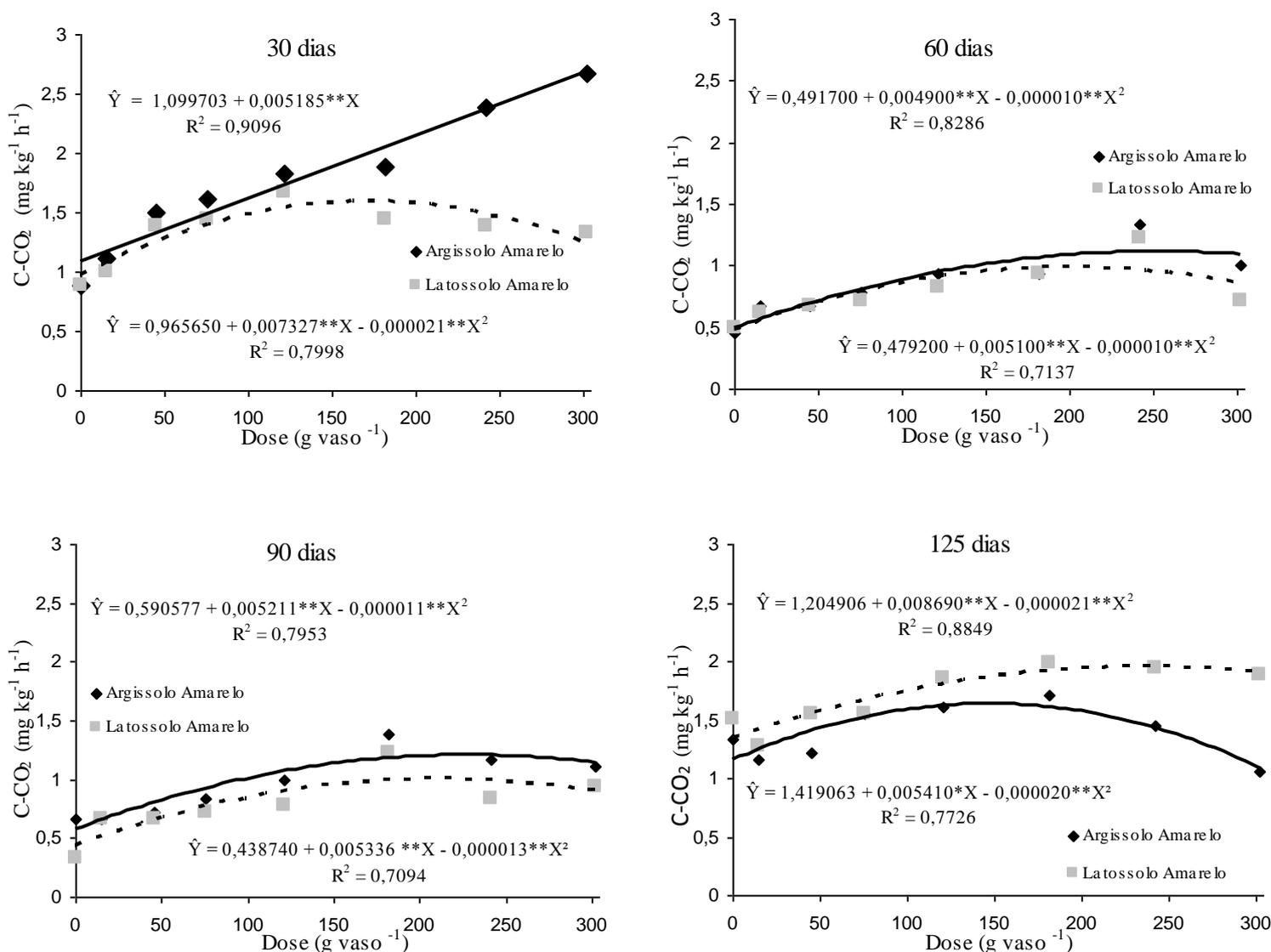


Figura 2. Respiração microbiana (C-CO₂) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

Observa-se que aos 30 dias houve a maior liberação de C-CO₂ em relação aos 60 e 90 dias. Segundo Passianoto et al. (2001) e Gatiboni et al. (2011), na fase inicial de decomposição de um material orgânico ocorre a maior atividade microbiana em virtude da maior disponibilidade de nutrientes. Diante do exposto, pode-se supor que a maior atividade dos microrganismos no solo, quantificada pela liberação de C-CO₂, deve ter ocorrido nos primeiros 30 dias de incubação do subproduto no solo. Verifica-se, também, que no período de 30 dias a atividade microbiana no solo apresentou uma maior diferença entre os solos e que a respiração microbiana no Argissolo Amarelo foi superior ao Latossolo Amarelo. Esta diferença entre os solos também foi observada por Lambais e Carmo (2008), que verificaram uma maior liberação de C-CO₂ em um solo argiloso quando comparado ao solo arenoso após a aplicação de dois biossólidos no solo. Os menores valores da respiração basal microbiana no período de 30 dias no Latossolo Amarelo podem estar relacionados com a menor proteção física que este proporciona ao subproduto de café, resultando em uma maior atividade microbiana nas primeiras semanas de contato do subproduto com a matriz do solo, isto é, antes do período de 30 dias. Diante disto, pode-se inferir que a escolha do período de 30 dias para a avaliação da atividade microbiana no Latossolo Amarelo não tenha sido o período mais adequado, pois a sua maior atividade pode ter ocorrido antes deste período.

Depois do primeiro período (30 dias), a atividade microbiana apresentou uma redução. Nos tempos de amostragem de 60 e 90 dias foram observados curvas similares para os valores de C-CO₂ nos dois solos, sendo estes valores inferiores aos 30 dias, isto pode ter acontecido em virtude da maior eficiência de utilização do carbono pela biomassa microbiana, resultando em menores perdas de carbono para a atmosfera. Comportamento semelhante foi observado por Capuani et al. (2012), ao avaliarem a atividade microbiana em diferentes tipos de solo com a adição de torta de mamona e resíduo têxtil industrial de algodão, verificaram decréscimo nas concentrações de C-CO₂ ao longo do tempo de observação. Estas menores perdas de C-CO₂ indicam uma maior incorporação do carbono pela biomassa microbiana (CUNHA et al., 2011).

Figueiredo et al. (2012), avaliando a mineralização de esterco de ovinos submetidos a fontes de alimentos diferenciados, verificaram que a aplicação de esterco ovino no solo proporcionou um aumento na atividade microbiana, quantificada pela

respiração basal do solo logo após a aplicação deste esterco no solo, e que a respiração basal apresentou uma redução com o passar do tempo. Esta redução também foi observada por Lambais e Carmo (2008). Este aumento e esta redução foram observados no presente estudo, com a maior atividade aos 30 dias e com uma tendência de queda desta atividade aos 60 e 90 dias e elevação aos 125 dias (Figura 2).

Simões et al. (2013) relatam que a adição de resíduo orgânico no solo como fonte de carbono resulta em um aumento da população microbiana em virtude de uma maior quantidade de material a ser decomposto. Pinto et al. (2012), avaliando os efeitos da adição de cama de peru em solo sob pastejo rotacionado, observaram que a maior dose, quando comparada a menor dose, favoreceu a atividade microbiana resultando em perdas de carbono, devido ao maior aporte de dejetos suínos ao solo. Dessa forma, o aumento das doses influenciou a atividade microbiana do solo, o que pode ter favorecido a maior liberação de C-CO₂ nas maiores doses no Argissolo Amarelo, aos 30 dias de avaliação (Figura 2).

Posteriormente, ocorreu um aumento na respiração microbiana, nos dois solos avaliados, no período de 125 dias em relação aos 90 dias. Neste período, em ambos os solos, as curvas polinomiais foram as que melhor representaram a respiração microbiana do solo em função das doses e houve uma inversão entre os solos (Figura 2). A dose estimada para o Argissolo Amarelo foi a de 135,25 g vaso⁻¹ de subproduto de café, proporcionando o máximo valor médio de C-CO₂, correspondente a 1,78 mg kg⁻¹ h⁻¹. Enquanto no Latossolo Amarelo o ponto máximo de 2,10 mg kg⁻¹ h⁻¹ foi estimado para a dose de 206,91 g vaso⁻¹ de subproduto de café. Este aumento no Latossolo Amarelo pode ter acontecido por causa da liberação de exsudados radiculares neste período, na presença das plantas de milho, superando o que ocorreu no Argissolo Amarelo, de textura mais argilosa.

Em relação ao quociente metabólico (qCO_2), este teve efeito significativo ($P=0,05$) em função das doses crescentes de subproduto de café nos dois solos e nos quatro tempos de amostragem (Figura 3). Aos 30 dias, o qCO_2 no Argissolo Amarelo foi melhor representado pela curva linear, demonstrando que o aumento das doses proporciona aumento no qCO_2 . Já o Latossolo Amarelo foi melhor descrito pela curva polinomial, demonstrando que o aumento das doses reduz o qCO_2 .

Os maiores valores de qCO_2 neste período, indicam uma maior liberação de C- CO_2 por unidade de carbono microbiano, demonstrando uma maior atividade microbiana, e, também, indicam um ambiente submetido a alguma situação de estresse (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002), o que pode ter acontecido por causa da adição de subproduto de café no solo, o qual é fonte de nutrientes e energia para os microrganismos, resultando em uma maior atividade microbiana.

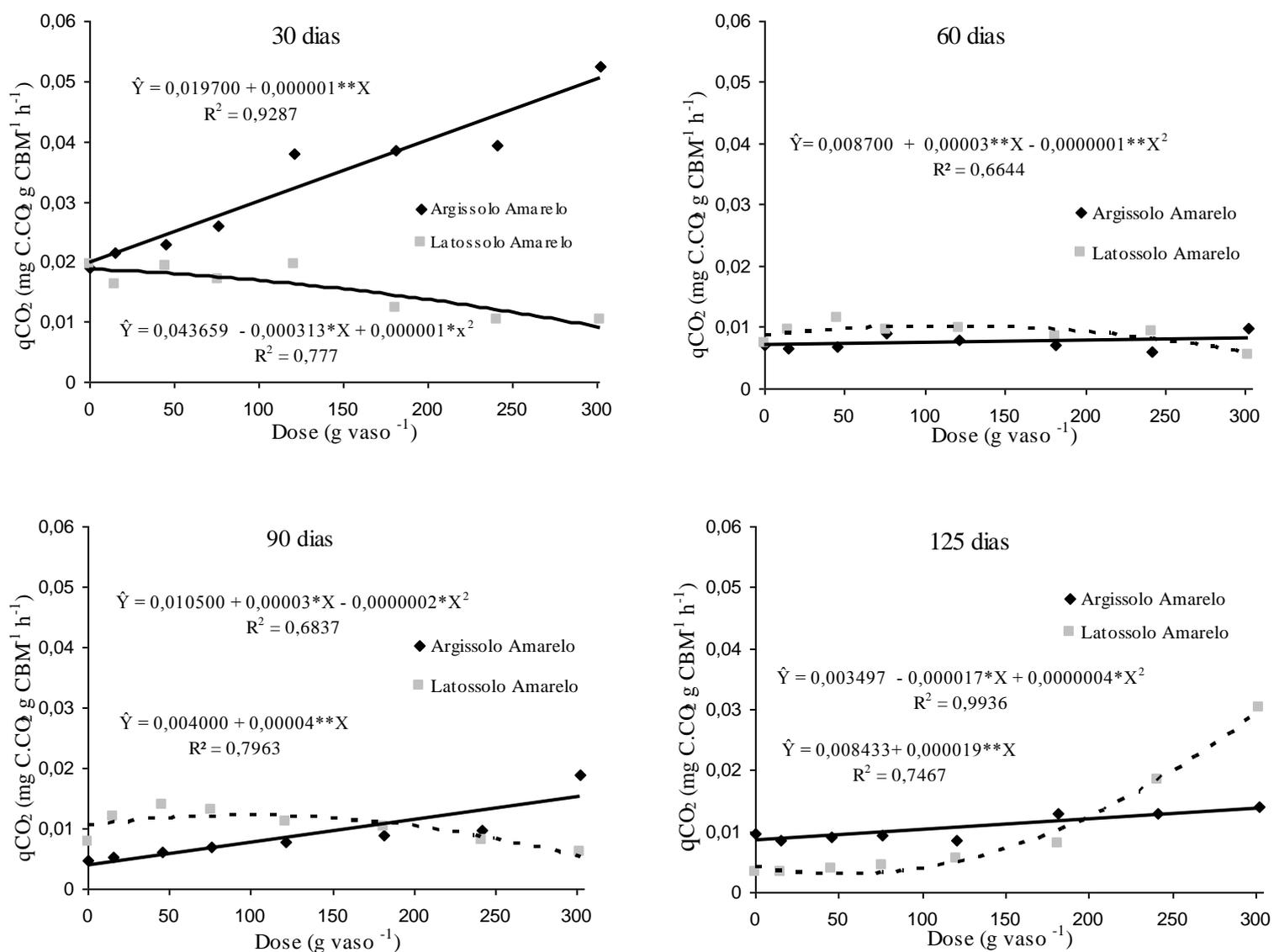


Figura 3. Quociente metabólico (qCO_2) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

No período de 60 dias, as doses do subproduto de café não influenciaram o $q\text{CO}_2$ no Argissolo Amarelo, enquanto que no Latossolo Amarelo a curva polinomial foi a que melhor representou o $q\text{CO}_2$, com o máximo obtido na dose estimada de 150 g vaso⁻¹ de subproduto de café, com média de 0,012 mg C-CO₂ mg⁻¹ C-CBM dia⁻¹ e valores bem inferiores aos observados aos 30 dias de amostragem dos solos (Figura 3).

Aos 90 dias, a curva polinomial foi a que melhor representou o comportamento do $q\text{CO}_2$ em função das doses, no Latossolo Amarelo. Nesse solo, o máximo foi obtido na dose estimada de 75 g vaso⁻¹ de subproduto de café, com média de 0,012 mg C-CO₂ mg⁻¹ C-CBM dia⁻¹. No Argissolo Amarelo observa-se que o aumento das doses proporcionaram um aumento no $q\text{CO}_2$, sendo melhor representada pela curva linear. Aos 60 e 90 dias verificou-se uma redução nos valores do $q\text{CO}_2$, nos dois solos avaliados, quando comparado ao período de 30 dias (Figura 3). Menores valores de $q\text{CO}_2$ indicam que menos carbono foi perdido pela respiração C-CO₂ por unidade de biomassa e também indicam uma maior eficiência da biomassa microbiana na utilização do carbono, pois o mesmo está sendo incorporado ao tecido microbiano (SAMPAIO et al., 2008; LOURENTES et al., 2011; VIEIRA et al., 2011).

No período de 125 dias, as curvas linear e polinomial foram as que melhor representaram o comportamento $q\text{CO}_2$, no Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo, respectivamente. Demonstrando que o aumento das doses de subproduto de café proporcionou aumento no $q\text{CO}_2$.

Quadro et al. (2011), avaliando as mudanças microbiológicas no solo após a aplicação de dejetos suíno e calcário verificaram que a aplicação de doses crescentes de dejetos suíno no solo promoveu um aumento significativo no $q\text{CO}_2$, indicando um maior estresse na biomassa microbiana. Trannin et al. (2007), estudando os efeitos de dois anos de aplicação de doses crescentes de biossólido no solo observaram que a aplicação deste resíduo não promoveu efeito significativo no $q\text{CO}_2$ quando comparado a uma área de referência, indicando que este resíduo não causou efeito adverso à biomassa microbiana e que esta se manteve eficiente na utilização deste resíduo.

O carbono orgânico total (COT) dos dois solos avaliados foi significativamente ($P=0,05$) influenciado pelas doses crescentes de subproduto de café (Figura 4). Verificou-se que nos quatro períodos avaliados o COT no Argissolo Amarelo apresentou um aumento nos seus valores em função do aumento das doses de

subproduto de café, sendo os seus valores melhor representados pela curva linear. Enquanto no Latossolo Amarelo, nos períodos de 30 e 60 dias as curvas lineares foram as que representaram de melhor forma o COT, demonstrando que a aplicação de doses crescentes de subproduto de café proporcionou um aumento nos valores de COT. Já nos períodos de 90 e 125 dias as curvas polinomiais foram as que melhor se ajustaram aos valores de COT. A melhor dose estimada para os 90 dias foi a de 184,40 g vaso⁻¹, com média de 0,51 dag kg⁻¹, enquanto aos 125 dias foi a dose estimada de 212,5 g vaso⁻¹, com média de 0,62 dag kg⁻¹.

O aumento dos valores de COT em função do aumento das doses pode estar relacionado com o maior aporte de carbono depositado no solo com o aumento das doses. Santos et al. (2009), avaliando os efeitos da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto sobre a atividade microbiana do solo, carbono orgânico total e os teores de carbono nas frações da matéria orgânica do solo, observaram que o aumento das doses deste resíduo proporcionou aumento nos teores de COT no solo. Este aumento também foi observado por Vieira et al. (2011), os quais avaliaram os efeitos da adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento e efluentes da parboilização do arroz em alguns atributos químicos e microbianos do solo.

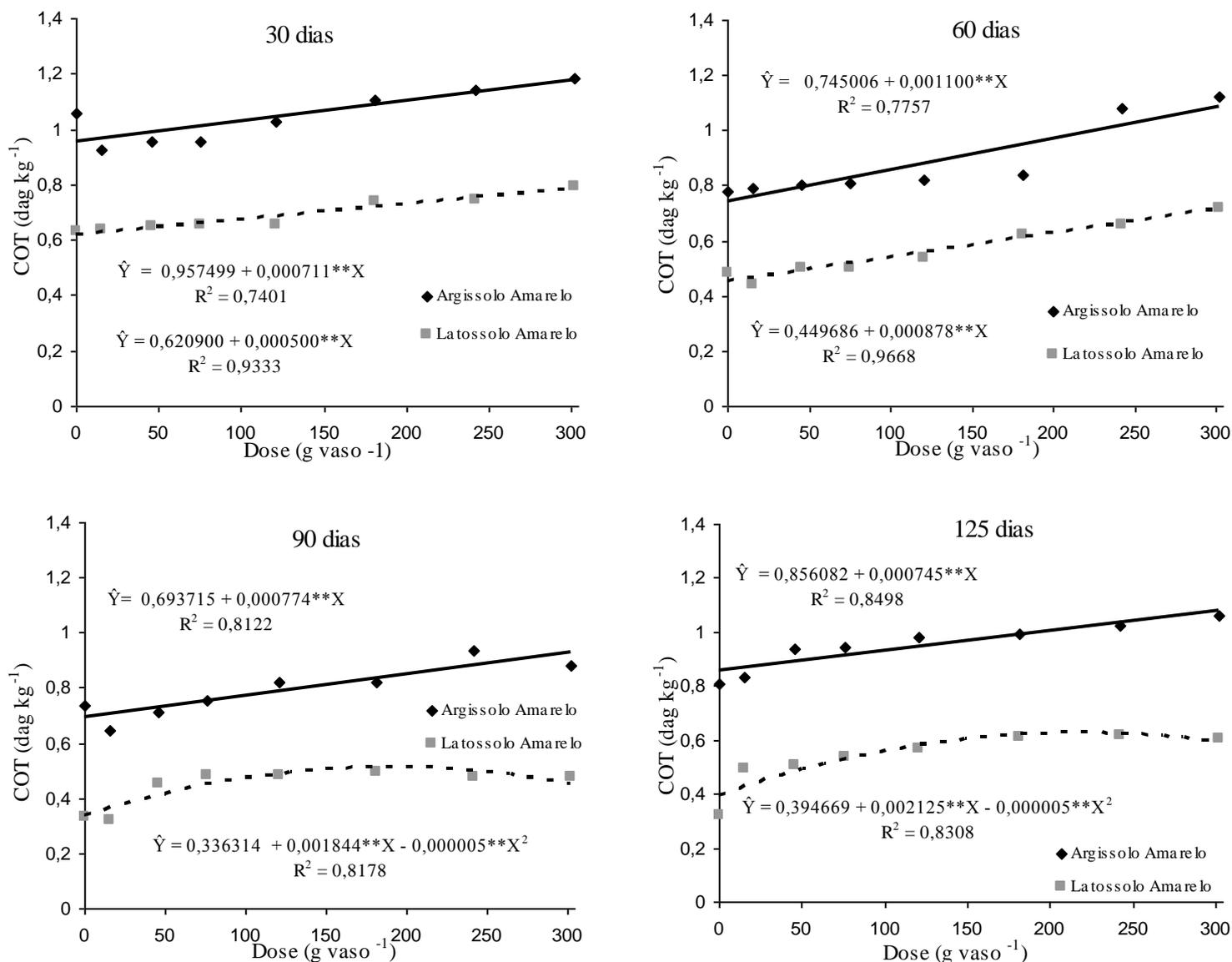


Figura 4. Carbono orgânico total (COT) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

Verifica-se que os valores de COT no Argissolo Amarelo foram superiores ao Latossolo Amarelo em todos os períodos avaliados. Segundo Walpola et al. (2010) e Shi e Marschner (2012) a matéria orgânica do solo apresenta uma decomposição mais lenta em solos com textura mais argilosa, pois as partículas de argila do solo proporciona uma maior proteção física ao material orgânico, por outro lado, solos com textura mais arenosa apresenta uma baixa proteção da material orgânico aos agentes decompositores, resultando em uma maior decomposição.

Diante disto, pode-se inferir que o Argissolo Amarelo por apresentar uma maior quantidade de argila (460 g kg^{-1}) e matéria orgânica ($2,38 \text{ dag kg}^{-1}$) permite uma maior agregação das partículas individuais do solo, ficando o subproduto de café protegido fisicamente nos agregados, reduzindo assim, a ação dos microrganismos e, conseqüentemente, a decomposição. Enquanto no Latossolo Amarelo, a quantidade de argila (40 g kg^{-1}) e matéria orgânica ($1,17 \text{ dag kg}^{-1}$) são inferiores ao Argissolo Amarelo, resultando em uma maior decomposição do subproduto. Além disso, o maior aporte de COT no Argissolo Amarelo contribuiu para os maiores valores de COT neste solo (Tabela 2).

Verifica-se que as doses crescentes de subproduto de café influenciaram significativamente ($P=0,05$) o quociente microbiano ($q\text{Mic}$) dos dois solos em todos os períodos avaliados (Figura 5). No período de 30 dias, as curvas polinomiais foram as que melhor representaram o $q\text{Mic}$ nos dois solos avaliados. Observa-se que os aumentos das doses de subproduto de café proporcionaram aumento no $q\text{Mic}$, no Latossolo Amarelo. No Argissolo Amarelo, ocorreu um aumento nos valores do $q\text{Mic}$ nas primeiras doses e depois estes valores decrescem, apresentando como maior média $0,84 \%$ na dose estimada de $167,93 \text{ g vaso}^{-1}$. Aos 60 dias no Latossolo Amarelo verificou-se aumento nos valores do $q\text{Mic}$ em função dos aumentos das doses de subproduto de café, sendo melhor representado pela curva linear. Enquanto no Argissolo Amarelo o $q\text{Mic}$ apresentou comportamento polinomial, com a melhor dose estimada de $136,06 \text{ g vaso}^{-1}$, com média de $1,39 \%$.

No período de 90 dias, as curvas polinomiais representaram de melhor forma os valores do $q\text{Mic}$ nos dois solos avaliados. Verificou-se no Latossolo Amarelo que o aumento das doses de subproduto de café proporcionaram incremento nos valores do $q\text{Mic}$, o que não ocorreu no Argissolo Amarelo, pois com o aumento das doses houve redução nos valores do $q\text{Mic}$, apresentando como melhor dose estimada de $42,79 \text{ g vaso}^{-1}$, com média de $1,89 \%$.

Aos 125 dias observou-se que o aumento da dose de subproduto de café proporcionou uma redução nos valores do $q\text{Mic}$ nos dois solos avaliados, sendo estes representados de melhor forma pelas curvas lineares decrescentes.

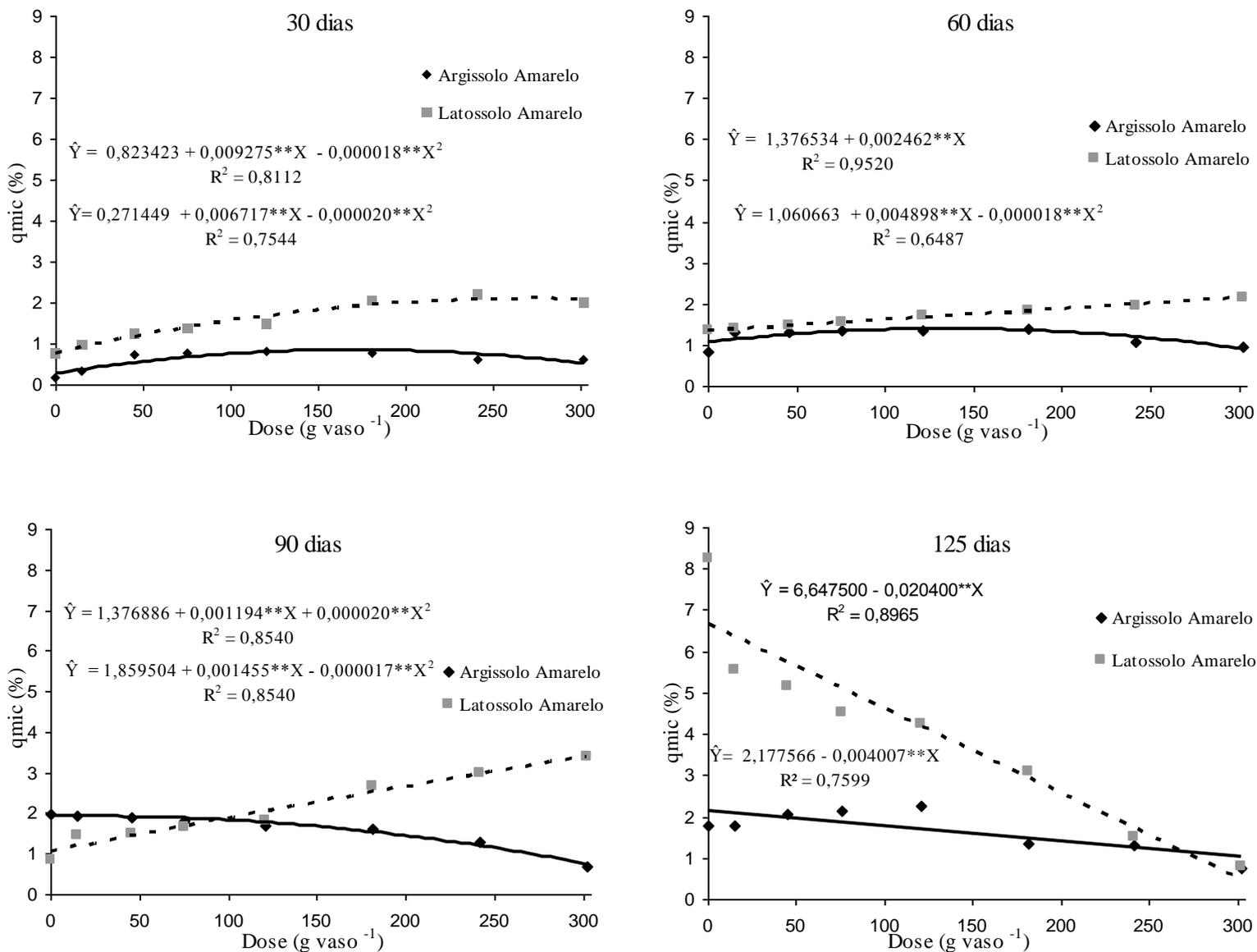


Figura 5. Quociente microbiano ($qMic$) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

Observa-se que os valores do $qMic$ foram maiores no Latossolo Amarelo, exceto nas primeiras doses de subproduto de café no período de 90 dias que os maiores valores foram encontrados no Argissolo Amarelo. Lambais e Carmo (2008) encontraram maiores valores de $qMic$ em um solo arenoso quando comparado ao solo mais argiloso. Segundo Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), a biomassa microbiana encontra-se sob estresse quando a matéria orgânica do solo é de difícil decomposição, resultando na redução do $qMic$. Diante disto, pode-se inferir que o Argissolo Amarelo dificulta a

decomposição do material orgânico em virtude da maior proteção física que este solo proporciona ao material, resultando em menores valores de q_{Mic} .

Conforme Anderson e Domsch (1993) e Pragna et al. (2012), os maiores valores de q_{Mic} indicam uma maior ciclagem de nutrientes e, também, uma maior disponibilidade de carbono orgânico para os microrganismos do solo. Diante disto, pode-se afirmar que os maiores valores de q_{Mic} no Latossolo Amarelo refere-se a uma maior disponibilidade de carbono orgânico para os microrganismos, reduzindo assim o COT no solo. Enquanto no Argissolo Amarelo o COT está protegido fisicamente à degradação microbiana, resultando em maiores valores de COT e menores valores de q_{Mic} . Portanto, pode sugerir que solos com maior quantidade de argila permite uma menor degradação do material orgânico depositado no mesmo, resultando em maior acúmulo de COT (Figura 4).

A adição de doses crescentes de subproduto de café nos solos proporcionou efeito significativo ($P=0,05$) no carbono solúvel em água (Figura 6). O carbono solúvel em água (CSA) aos 30 dias para o Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo foi melhor representado pelas curvas linear e polinomial, respectivamente, demonstrando que esta variável aumenta em função do aumento das doses. No período de 60 dias, a curva polinomial foi a que representou de melhor forma o CSA no Argissolo Amarelo, com o máximo obtido na dose de $163,81 \text{ g vaso}^{-1}$, equivalente ao valor médio de $72,12 \text{ mg kg}^{-1}$. Enquanto o Latossolo Amarelo foi melhor descrito pela curva linear crescente, demonstrando que o aumento da dose aumenta o valor do CSA.

Aos 90 dias e 125 dias, o CSA nos dois solos estudados foi melhor representado pelas curvas polinomiais. Demonstrando que com o aumento das doses ocorre aumento nos valores do CSA.

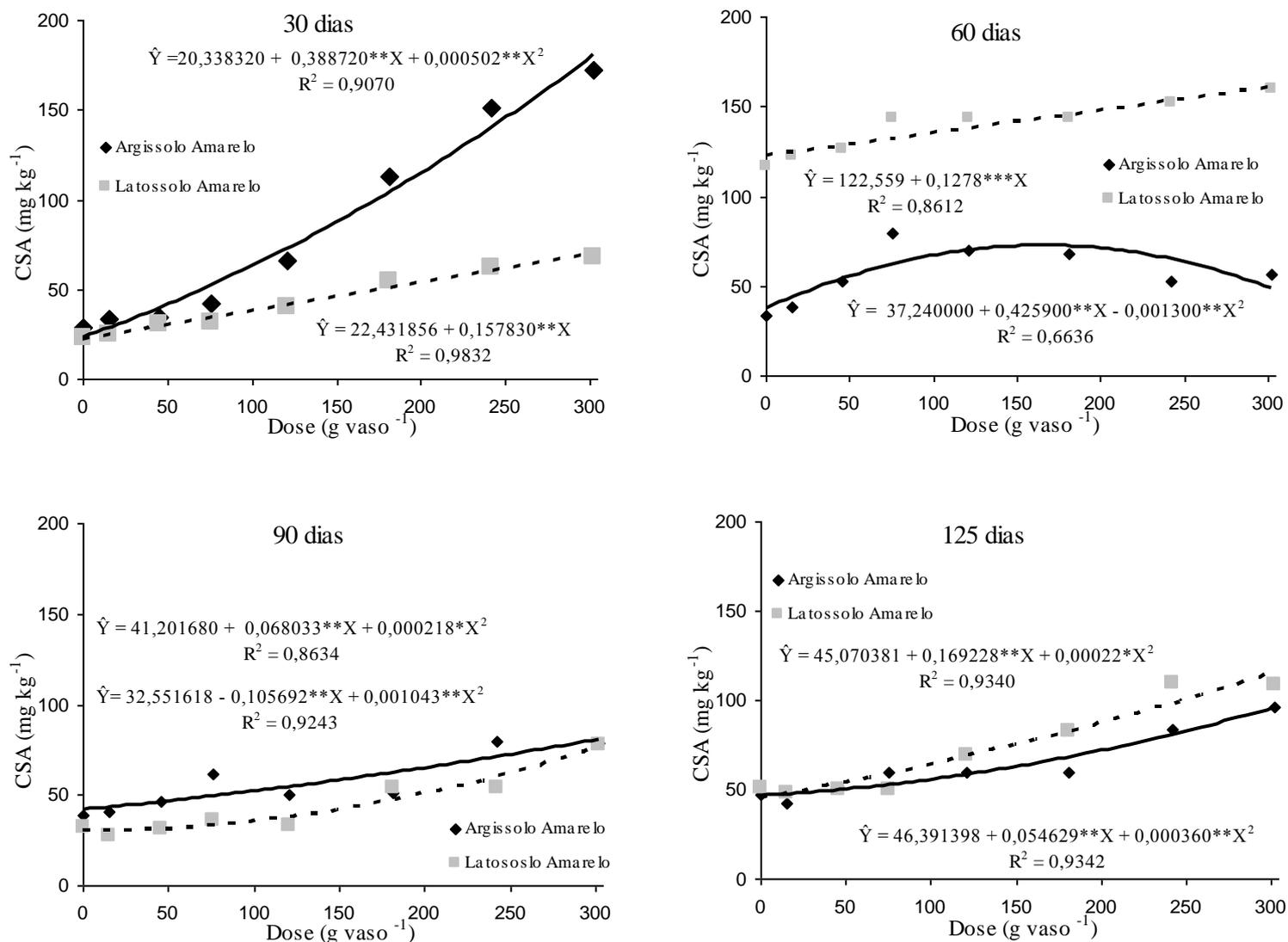


Figura 6. Carbono solúvel em água (CSA) em quatro tempos de amostragem em função da aplicação de doses de subproduto de café em dois solos cultivados com milho.

Verifica-se que os maiores teores de carbono solúvel em água no Argissolo Amarelo foram encontrados no período de 30 dias. Conforme Guggenberger e Zech (1993), a atividade dos microrganismos promove a produção de carbono orgânico solúvel. Diante disto, pode-se afirmar que a maior atividade microbiana nos solos no período de 30 dias (Figura 3), resultou em uma maior produção de CSA. Além disso, foi nos primeiros 30 dias após a incorporação do subproduto de café nos solos, que iniciou o processo de decomposição deste subproduto e, com a continuidade deste processo, os valores desta variável tenderam a ser reduzidos (Figura 6); pois, conforme Souza e

Melo (2003); Said-pullicino et al. (2007) e Portugal et al. (2008), o carbono solúvel em água reflete o início da decomposição do resíduo orgânico incorporado ao solo e, com o avanço da decomposição, os seus valores tendem a diminuir. Também foi observado que o CSA no Argissolo Amarelo foi superior ao Latossolo Amarelo, indicando que o início do processo de decomposição do subproduto de café no Latossolo Amarelo pode ter ocorrido nas primeiras semanas de contato do subproduto com a matriz do solo, como dito anteriormente.

Comparando o período de 125 dias, verifica-se que houve aumento do CSA com as doses em relação ao período anterior (90 dias) nos dois solos, contudo, os valores observados no Latossolo superaram os do Argissolo, provavelmente, pela maior capacidade deste último em proteger o carbono, minimizando as perdas na forma solúvel. Por outro lado, o aumento nos teores de CSA nesta amostragem pode estar relacionado com presença das raízes das plantas de milho e seus exsudados orgânicos os quais liberam carbono para o solo (SOUZA e MELO, 2003).

Da mesma maneira que as plantas podem ter alterado as condições biológicas do solo, a decomposição diferenciada do subproduto aplicado em doses crescentes deve ter promovido diferentes condições de crescimento radicular e absorção de nutrientes e água pela planta, influenciando sobre o desenvolvimento da mesma. As diferenças nos comportamentos das variáveis avaliadas nos dois solos são um indicativo da resposta de cada um deles ao uso de qualquer produto orgânico aplicado em solos, justificando mais pesquisas para elucidarem a atuação destes nos solos em geral.

4. CONCLUSÕES

- A utilização de dose crescente de subproduto de café proporcionou aumentos nos valores de C-CBM, C-CO₂ e CSA;
- O COT foi superior no Argissolo Amarelo devido este solo permitir uma maior proteção do subproduto orgânico à decomposição pelos microrganismos;
- A maior atividade microbiana ocorreu no período de 30 dias, com maior liberação de C-CO₂ e teores de CSA;
- O cultivo do milho por um período de 90 a 125 dias proporcionou mudanças nos indicadores biológicos do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p.393-395, 1993.

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 direto¹. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, p. 107-112, 2003.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society**, v.52, p.191-1192, 1988.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.380–390, 2012.

CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. de M.; BRITO NETO, J. F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1269–1274, 2012.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. de C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B. P.; SILVEIRA NETO, A. N. da. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2008.

CHENG, W.; ZANGH, Q.; COLEMAN, D.C.; CARROL, C.R.; HOFFMAN, C.A. Is available carbon limiting microbial respiration in rhizosphere? **Soil Biology e Biochemistry**, v.28, p. 1283- 1288, 1996.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. Ii - atributos biológicos do solo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, P. 603-611, 2011.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S.O.; KURE, L.K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v.19, p. 237–248, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.

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

FIGUEIREDO, C. C; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. M; MENEZES, A. M. Mineralização de esterco de ovinos e sua influência na produção de alface. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.175-179, 2012.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa Microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. Cap. 11, p. 159-170.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; DERNARDIN, R. B. N.; WILDER, L. P. Microbial biomass and soil fauna during the decomposition of cover crops in no-tillage system¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1151-1157, 2011.

GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Dissolved organic-carbon control in acid forest soils of the fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition analyses. **Geoderma**, v. 59, p.109–129, 1993.

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação), Recife: IPA, 2008. 198p

JAKELAITIS, A., SANTOS, J.B. VIVIAN, R.; SILVA, A.A. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas¹. **Planta Daninha**, v. 25, p. 71-78, 2007.

LAMBAIAS, M. R.; CARMO, J. B. Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1129-1138, 2008.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

LOURENTES, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado¹. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 20-28, 2011.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 107 p. 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R. de; LIMA, C. L. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, p. 125-130, 2001.

PINTO, F. A.; SANTOS, F. L.; TERRA, F. D.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, R. R. J.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 254-262, 2012.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2091-2100, 2008.

PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; LUSTOSA FILHO, J. F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 851-858, 2012.

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D. ; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **Revista Brasileira Agrociência**, v.17, p.85-93, 2011.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SAID-PULLICINO, D. KAISER, K.; GUGGENBERGER, G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. **Chemosphere**, v.66, p.2166-2176, 2007.

SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 353-359, 2008.

SANTOS, J. A.; SANTOS, V. B.; ARAÚJO, A. S. F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 17 - 23, 2009.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, p. 20-26, 2004.

SHI, A.; MARSCHNER, P. Addition of a clay subsoil to a sandy top soil alters CO₂ release and the interactions in residue mixtures. **Science of the Total Environment**, p. 1-7, 2012.

SIMÕES, K. da S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. da S.; PEIXOTO, C. P.; PEREIRA, F. A. de C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.518–523, 2013.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 79-88, 2010.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1113-1122, 2003.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O. ; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1173-1184, 2007.

VENZKE FILHO, S. de P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 599-610, 2008.

VIEIRA, G. D.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 543-550, 2011.

WALPOLA, B. C.; ARUNAKUMARA, K. K. I. U. Decomposition of *gliricidia* leaves: the effect of particle size of leaves and soil texture on carbon mineralization. **Tropical Agricultural Research & Extension**, v. 13, p.20-23, 2010.

CAPÍTULO III

CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS EM DOIS SOLOS SOB A APLICAÇÃO DE DOSES DE SUBPRODUTO DA AGROINDÚSTRIA DE CAFÉ

RESUMO

Na cultura do milho o fósforo é um elemento essencial, pois este é responsável pelos processos de fotossíntese e respiração, pela transferência de energia e pela formação e desenvolvimento dos grãos. Este nutriente pode ser fornecido por fertilizantes industriais e orgânicos. Na região de Garanhuns, Agreste de Pernambuco, o subproduto da agroindústria de café tem sido utilizado sem o conhecimento da melhor dose em relação às respostas das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade de uso do subproduto de agroindústria de café em dois solos de texturas diferentes sob o cultivo de milho. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto de café. As doses crescentes do subproduto de café foram equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% do total de P recomendado para a cultura do milho. Após 90 dias da incorporação do subproduto de café, foi realizado a semeadura de seis sementes de milho (cultivar BRS-Catingueiro). O crescimento da planta foi avaliado por meio de medições do diâmetro do caule (DC), altura da planta (AP) e número de folhas (NF), sendo estas realizada aos 15 e 35 dias após a emergência. Aos 35 dias após a semeadura, as plantas foram coletadas para a determinação do teor e conteúdo de P e K na parte aérea. O DC, a AP e o NF das plantas cultivadas no Latossolo Amarelo foram significativamente superiores aos das plantas cultivadas no Argissolo Amarelo. O teor e o conteúdo de potássio na parte aérea das plantas de milho foram significativamente maiores no Latossolo Amarelo quando comparados às plantas cultivadas no Argissolo Amarelo. O teor e conteúdo de fósforo na parte aérea das plantas de milho cultivadas no Latossolo Amarelo foram significativamente superiores aos das plantas no Argissolo Amarelo. Em relação às doses crescentes de subproduto de café, foi observado que o crescimento das plantas, absorção e acúmulo de potássio e fósforo foram incrementados com o aumento das doses de subproduto de café.

Palavras-chave: *Zea mays*, fósforo, acúmulo de nutrientes.

ABSTRACT

In the corn culture the phosphorus is an essential element, because is responsible by processes of photosynthesis and respiration, energy transfer and formation and development of the grains. This nutrient can be provided by industrial and organic fertilizers. In the Garanhuns region, Wasteland Pernambuco, the byproduct of the agribusiness of coffee has been used without the knowledge of best doses in relation to plant responses. Therefore, the objective of this study was to evaluate the potential use of agribusiness byproduct of coffee in two soils of different texture of the Wasteland Pernambuco below corn cultivation. The experimental design was a randomized block with factorial scheme 2 x 8, two solos and eight sources of byproduct of coffee. The increasing sources of the coffee byproduct were equivalent to 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 and 200% of total of P recommended for corn. After 90 days of incorporation of coffee byproduct, was realized planting corn seeds six (BRS - Catingueiro cultivar). Plant growth was valued by means of the measurements stalk diameter (DC), plant height (PH), number of leaves (NL), these being performed to 15 and 35 days after emergence. To 35 days after emergence, the plants were collected to determine of the content and content of P and K in shoot. The DC, AP and NF plants grown in Oxisol were significantly higher than plants grown in Ultisol. The content and potassium content in shoots of corn plants were significantly higher in the Oxisol compared plants grown in Ultisol. The content and phosphorus content in shoots of corn plants grown in Oxisol was significantly higher in plants Ultisol. In relation to increasing doses of coffee byproduct, it was observed that the growth of plants, absorption and accumulation of potassium and phosphorus were increased with increased doses of coffee byproduct.

Keywords: *Zea mays*, phosphorus, nutrient accumulation.

1. INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, em virtude de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo. O seu cultivo apresenta como finalidade a alimentação humana e animal, assumindo relevante papel socioeconômico, além de ser matéria prima fundamental para inúmeros complexos agroindustriais (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004).

É uma cultura de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, a qual exige uma maior concentração de fósforo na solução do solo. O fósforo é um elemento essencial para as plantas sendo fundamental para a transferência de energia e para os processos de fotossíntese e respiração. A baixa disponibilidade deste elemento no início do período vegetativo pode ocasionar uma redução do desenvolvimento da planta, o qual não é recuperado mesmo com a adição de fósforo ao solo (GRANT et al., 2001; BASTOS et al., 2010).

Na cultura do milho, o fósforo é um elemento essencial, pois está relacionado com a formação e desenvolvimento dos grãos, sendo assim, a ocorrência de deficiência de fósforo ocasiona a formação de espigas mal constituídas, maturação retardada e desuniforme, redução na altura das plantas e as folhas mais velhas apresentam uma coloração arroxeada (LUCENA et al, 2000; FERREIRA, 2012).

Os solos de regiões tropicais apresentam baixa disponibilidade de fósforo no solo para as plantas, sendo este um dos fatores mais limitantes da produção (NOVAIS e SMYTH, 1999), uma vez que parte do fósforo no solo está adsorvida nas argilas, óxidos de ferro e alumínio e a outra parte precipita com os íons de ferro, alumínio (FARIAS et al., 2009) ou cálcio na solução do solo. A alta adsorção deste elemento no solo e a precipitação reduzem a disponibilidade às plantas, sendo necessária a utilização de altas doses deste nutriente para poder suprir as necessidades nutricionais das plantas.

A adição de fontes de matéria orgânica no solo promove um aumento nas formas mais lábeis de fósforo, resultando em um aumento na disponibilidade deste elemento para as plantas, em virtude da redução no processo de adsorção, pois a matéria orgânica pode bloquear os sítios de adsorção deste elemento, já que a mesma possui uma alta afinidade com estes sítios, disponibilizando maiores concentrações de fósforo na solução do solo (SANYAL e DE DATTA, 1991; PAVINATO e ROSOLEM, 2008; TIRITAN et al., 2010). Além disso, a adição de matéria orgânica ao solo, como resíduo

de plantas que contém fósforo nos seus tecidos, disponibiliza este nutriente para as plantas durante o processo de decomposição (OLIVEIRA et al., 2002; ANDRADE et al., 2003; BORKERT et al., 2003).

A utilização de resíduos orgânicos no cultivo de milho tem sido estudada por diversos autores (SANTOS et al., 2009; MATA et al., 2010; SANTOS et al., 2010; SANTOS et al., 2011). Segundo Santos et al. (2009), o uso de resíduo orgânico proveniente dos recursos já existentes na propriedade agrícola, proporciona benefícios aos pequenos agricultores em virtude dos baixos custos empregados no uso destes resíduos e na melhoria da fertilidade e conservação dos solos.

O resíduo de café, como a casca ou a palha de café, tem sido utilizada com diversas finalidades, como na dieta de ruminantes e suínos, na produção de etanol (ROCHA et al., 2006; PARRA et al., 2008; GOUVEA et al., 2009) e na agricultura. Entretanto, pesquisas desenvolvidas com uso de resíduos de café como adubo na agricultura são escassas (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005; RODRIGUES et al., 2011) e, principalmente, na cultura do milho.

No Estado de Pernambuco os municípios de Taquaritinga do Norte e Brejão destacam-se como os maiores produtores de café, com uma área plantada de 1.400 e 500 hectares, respectivamente. O município de Garanhuns apresenta uma área de 200 hectares cultivada com café (IBGE, 2013). Diante disto, pode-se afirmar que durante o processo de produção de café no Agreste de Pernambuco é gerado uma grande quantidade de resíduos. Esses resíduos já estão sendo utilizados na agricultura sem o prévio conhecimento do seu comportamento no solo e de seu potencial como fonte de nutrientes às plantas.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a potencialidade de uso do subproduto de agroindústria de café em dois solos de texturas diferentes do Agreste de Pernambuco sob o cultivo de milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE), localizada no Agreste do Estado de Pernambuco, coordenadas geográficas Latitude 8° 53' Sul, Longitude 36° 31' ° Oeste e altitude de 823 m. O clima predominante na região é o

tropical chuvoso, com verão seco; e a estação chuvosa no período outono/inverno e início da primavera (BORGES JÚNIOR et al., 2012).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, no arranjo fatorial 2 x 8, sendo dois solos e oito doses de subproduto, totalizando 16 tratamentos, em 5 repetições, perfazendo um total de 80 unidades experimentais. As doses do subproduto de café foram baseadas na recomendação de P para a cultura do milho no Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Foram aplicadas doses crescentes, equivalentes a 0, 10, 30, 50, 80, 120, 160 e 200% da quantidade total de P recomendada para a cultura do milho (Tabela 1).

Tabela 1. Doses de subproduto e quantidades equivalentes de P, K, Ca e Mg aplicados nos solos pelos tratamentos.

| Dose | Dose | Proporção ¹ | K | P | Ca | Mg |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------|--------|-------|
| t ha ⁻¹ | g vaso ⁻¹ | % | mg vaso ⁻¹ | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3,63 | 15,11 | 10 | 43,82 | 29,92 | 10,22 | 3,86 |
| 10,88 | 45,34 | 30 | 131,49 | 89,77 | 30,68 | 11,58 |
| 18,14 | 75,57 | 50 | 219,15 | 149,63 | 51,13 | 19,30 |
| 29,02 | 120,91 | 80 | 350,64 | 239,40 | 81,81 | 30,88 |
| 43,53 | 181,37 | 120 | 525,97 | 359,11 | 122,71 | 46,32 |
| 58,04 | 241,82 | 160 | 701,28 | 478,80 | 163,61 | 61,76 |
| 72,55 | 302,28 | 200 | 876,61 | 598,51 | 204,52 | 77,20 |

¹Proporção do total de P recomendado para o milho (IPA, 2008) e fornecido pelo subproduto.

Foram utilizados dois solos com diferentes teores de argila, uma da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Amarelo, sob o qual se encontrava o cultivo de pastagem; e uma de horizonte subsuperficial (20-40 cm) de um Argissolo Amarelo, sob vegetação nativa.

As amostras de solos foram secas ao ar e peneirados em malha de 4,0 mm para a montagem do experimento, sendo retiradas subamostras, que foram peneiradas em malha de 2 mm para a caracterização química e física (Tabela 2). Após o preparo, os solos foram acondicionados em vasos de 10 litros, perfurados na base para permitir a drenagem do excesso de água, sendo o fundo do vaso forrado com uma tela de nylon para evitar perdas de solo.

Tabela 2. Caracterização física e química das amostras de solo utilizadas no experimento

| Característica | Amostra | |
|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| | Latossolo | Argissolo |
| pH _{H2O} (1:2,5) | 5,84 | 4,42 |
| pH _{KCl} (1:2,5) | 4,87 | 3,80 |
| P (mg dm ⁻³) | 1,18 | 0,08 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,05 | 0,08 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,25 | 0,20 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,25 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,017 | 0,004 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,1 | 1,0 |
| Areia (g kg ⁻¹) | 852,1 | 404,8 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 107,9 | 135,2 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 40,0 | 460 |
| Ds ¹ (g cm ⁻³) | 1,7 | 1,2 |
| Dp ² (g/cm ³) | 2,78 | 2,44 |
| PT ³ (%) | 38,85 | 50,82 |
| CC ⁴ (g g ⁻¹) | 0,113 | 0,227 |
| PMP ⁵ (g g ⁻¹) | 0,023 | 0,136 |

¹Densidade do solo; ² Densidade de partículas; ³ Porosidade total; ⁴Umidade na capacidade de campo; ⁵Umidade no ponto de murcha permanente.

Na caracterização física foram determinadas: a composição granulométrica pelo método do densímetro (RUIZ, 2005); capacidade de campo e ponto de murcha permanente, pelo extrator de Richards; densidade do solo pelo método da proveta; densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; calculando-se a porosidade total com a densidade do solo e de partículas (EMBRAPA, 1997). Na caracterização química foram determinados o pH em água e em KCl e os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, K⁺, Na⁺ e P, conforme Embrapa (2009).

O subproduto utilizado foi obtido na fábrica “Café Ouro Verde”, sendo composto por casca de café, grãos triturados e outras impurezas. O mesmo foi moído e, posteriormente, foi tomada uma subamostra para a determinação da composição

química, por meio da digestão nitro-perclórica e determinação dos elementos P, K, Ca e Mg (EMBRAPA, 2009). Além destes, foi determinado a relação C/N. (Tabela 3). O N foi determinado pelo método da Embrapa (2009) e o carbono orgânico pelo método de Bezerra Neto e Barreto (2011).

Tabela 3. Composição química do subproduto de café utilizado no experimento

| Nutriente | Teor |
|-------------|----------------------|
| | dag kg ⁻¹ |
| P | 0,198 |
| K | 0,290 |
| Ca | 0,067 |
| Mg | 0,025 |
| Relação C/N | 12,45 |

Para a correção do pH foi aplicado calcário nos solos, sendo os cálculos baseados na neutralização do alumínio, tendo como fonte de CaCO₃ o carbonato de cálcio p.a. No Argissolo Amarelo foi adicionada a dose de 18 g vaso⁻¹ de CaCO₃ e no Latossolo Amarelo 8 g vaso⁻¹ CaCO₃, correspondendo às doses de 4,3 e 2,7 t ha⁻¹, respectivamente.

O subproduto foi incorporado aos solos nos vasos juntamente com o calcário, homogeneizando-se e ajustando-se a umidade a 70% da capacidade de campo, deixando-se incubados em casa de vegetação por 90 dias. Para a obtenção da capacidade de campo, os vasos com os solos foram colocados em uma caixa d'água, por 24 horas para que por meio da capilaridade houvesse o umedecimento do solo até a sua saturação. Após este período, os vasos foram retirados e, passado o tempo de drenagem, foram pesados para aferição da capacidade de campo. O controle da umidade foi realizado através da pesagem do vaso diariamente.

Aos 90 dias de incubação do subproduto no solo foi realizado a semeadura de 6 sementes de milho da cultivar BRS-Catingueiro por vaso, realizando o desbaste 10 dias após a emergência das plântulas, deixando-se uma planta por vaso. Durante os 35 dias subsequentes à emergência das plantas, foi avaliado o crescimento das plantas, por meio das medidas de diâmetro do colmo (DC) a 2,5 cm do colo da planta; altura de planta (AP), que foi medida da superfície do solo até a altura da última folha totalmente expandida; e número de folhas (NF); sendo estas medidas realizadas aos 15 e 35 dias após a emergência.

Aos 35 dias de cultivo, as plantas de milho foram cortadas rentes ao solo, separando-se a parte aérea do sistema radicular. A parte aérea da planta foi seca em estufa a 65°C, por 72 horas, pesada em balança analítica e moída para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) e composição química por meio de digestão nitro-perclórica (para P e K). Foram calculados os conteúdos de P e K nas plantas de milho em função da produção de matéria seca e dos teores destes elementos nas folhas das plantas.

Os resultados das variáveis dependentes foram submetidos à análise da variância e, sendo significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os fatores solo. Para as variáveis com o fator dose significativas, foram ajustadas equações de regressão das variáveis dependentes em função das doses aplicadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa de estatística Sisvar (FERREIRA, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 15 dias após a emergência das plantas, apenas o fator solo foi significativo ($P=0,05$) nas variáveis de crescimento avaliadas (Tabela 4). Observou-se que os valores de diâmetro do caule, número de folhas e altura da planta foram significativamente superiores no Latossolo Amarelo em relação ao Argissolo Amarelo. Provavelmente, esta diferença ocorreu devido à deficiência de fósforo, no Argissolo Amarelo, solo mais argiloso e, provavelmente, com maior capacidade de retenção de fósforo.

Tabela 4. Variáveis de crescimento de plantas de milho cultivadas nos dois tipos de solo após 15 dias da emergência.

| Solo | DC ¹ | NF ² | AP ³ |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Argissolo Amarelo | 4,725 B | 4,25 B | 36,65 B |
| Latossolo Amarelo | 5,925 A | 4,87 A | 43,33 A |

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0,05$). ¹Diâmetro de caule (mm); ²Número de folhas; ³Altura da planta (cm).

Apesar de não ter sido mensurada a capacidade máxima de adsorção de P nos dois solos estudados, sabe-se que esta é sempre superior em solos intemperizados e de elevados teores de argila, como no Argissolo Amarelo (NOVAIS e SMYTH, 1999). No Argissolo Amarelo, as plantas já apresentavam sintomas de deficiência neste período, tendo apresentado os primeiros sintomas nove dias após a emergência, com folhas de

coloração arroxeada. Por outro lado, o Latossolo Amarelo, disponibilizou uma maior quantidade de fósforo no solo, refletindo no maior crescimento da planta de milho. Segundo Machado et al. (2011), solo de textura mais arenosa apresenta uma menor adsorção de fósforo e, conseqüentemente, maior disponibilidade deste elemento para as plantas.

Prado e Vidal (2008), avaliando o efeito da omissão de macronutrientes sobre o crescimento e acumulação de macronutrientes na parte aérea de plantas de milheto, observaram que os sintomas iniciais de deficiência de fósforo ocorreram 8 dias após o início do tratamento de omissão de fósforo.

O efeito das doses de subproduto de café aplicadas nos dois solos ficou mais evidente sobre o crescimento das plantas aos 35 dias da emergência (Figura 1). Observou-se que as doses crescentes de subproduto de café influenciaram significativamente ($P=0,05$) o aumento do diâmetro do caule (DC) das plantas de milho nos dois solos avaliados (Figura 1A). A equação linear foi a que melhor representou esta variável no Argissolo Amarelo, não tendo sido alcançado o ponto de curvatura, indicando que doses maiores poderiam ter proporcionado maior desenvolvimento das plantas de milho, pelo maior aporte de nutrientes ao solo. No entanto, no Latossolo Amarelo, o DC das plantas aumentou com a elevação das doses de subproduto de café seguindo uma função quadrática, na qual a dose de $282,79 \text{ g vaso}^{-1}$ proporcionaria um DC estimado máximo de 22,72 mm.

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) seguiu o mesmo comportamento do diâmetro do caule (Figura 1B), em que, no Argissolo Amarelo houve aumento linear da MSPA em função das doses; enquanto no Latossolo Amarelo o comportamento desta variável foi mais bem representado pela equação quadrática, com ponto máximo estimado de $16,04 \text{ g planta}^{-1}$ na dose de $269,44 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café.

As doses crescentes de subproduto de café também promoveram aumento significativo ($P=0,05$) na altura das plantas (AP), nos dois solos avaliados (Figura 1C). Mais uma vez, as plantas cultivadas no Argissolo Amarelo tiveram um crescimento linear em função das doses e, no Latossolo Amarelo, o crescimento das plantas foi expresso por uma equação quadrática, com AP máxima estimada para a dose de $194,27 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café, com média de 117,71 cm.

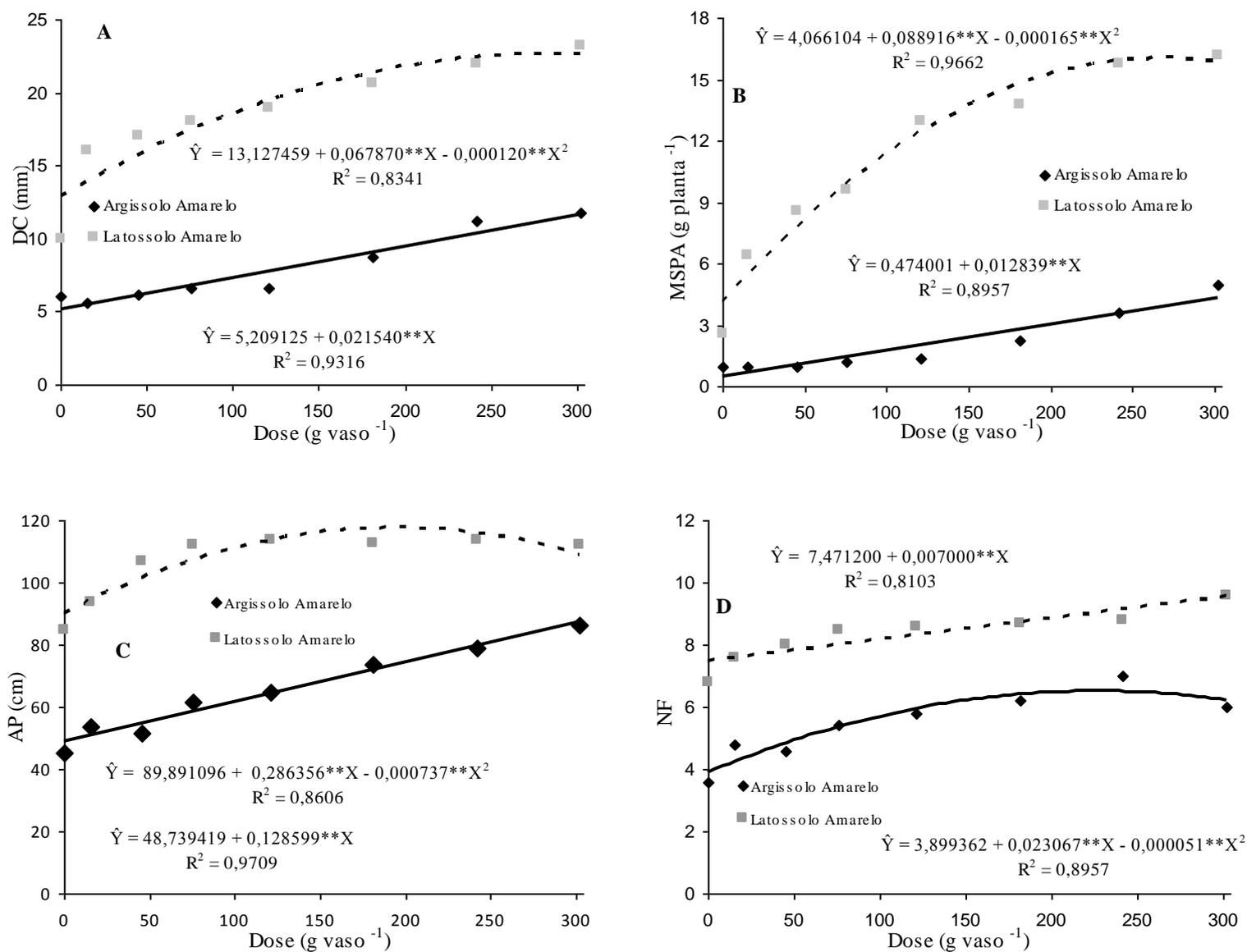


Figura 1. A - Diâmetro do caule (DC), B – produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), C - altura da planta (AP) e D - número de folhas (NF) de plantas de milho submetidas a diferentes doses de subproduto de café nos solos Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo aos 35 dias da emergência.

Nestas três variáveis avaliadas (DC, MSPA e AP), a aplicação de doses crescentes de subproduto de café promoveu aumentos lineares no Argissolo Amarelo e quadráticos no Latossolo Amarelo, com valores superiores para este último solo. Trata-se de um solo com baixo teor de argila (Tabela 2) e, portanto, naturalmente pobre em nutrientes. Entretanto, com a aplicação do subproduto e sua decomposição, parece ter ocorrido a liberação de nutrientes que ficaram disponíveis para a planta, o que não parece ter

havido com o Argissolo. Solos intemperizados e argilosos, com elevados teores de óxidos de ferro e alumínio comportam-se mais como dreno do que fonte de P (NOVAIS e SMYTH, 1999), como o Argissolo Amarelo em estudo. É possível que neste solo o P tenha sido adsorvido ou precipitado assim que foi liberado pela decomposição do subproduto orgânico, por isso, seriam necessárias doses mais elevadas para que fornecessem os nutrientes exigidos pela cultura. Isso vem a comprovar a necessidade diferenciada de fertilizantes pelas plantas em solos de textura e mineralogia diferentes.

Em relação ao número de folhas, houve um incremento desta variável no Latossolo Amarelo ($P=0,05$) à medida que aumentaram as doses de subproduto de café, sendo representada de melhor forma pela equação linear (Figura 1D). Enquanto no Argissolo Amarelo, o número de folhas aumentou de maneira curvilínea, com o número máximo de folhas alcançado na dose estimada de $226,15 \text{ g vaso}^{-1}$ de subproduto de café, com média correspondente a 6,61 folhas. Todavia, o número de folhas nas plantas cultivadas no Latossolo Amarelo também foi superior às do Argissolo.

Sousa et al. (2012) e Fernandes et al. (2012), verificaram que a utilização de fontes orgânicas como adubo na cultura do milho ocasionaram um aumento no diâmetro do caule, na altura e massa seca da parte aérea da planta do milho. Kasongo et al. (2013), avaliando o efeito de resíduo de café no crescimento, na absorção de nutrientes e no rendimento de plantas de Azevém, observaram que a adição de resíduo de café no solo proporcionou aumento da matéria seca da planta. Estes resultados demonstram o potencial do uso de adubos orgânicos como fontes de nutrientes às plantas.

O aumento das doses de subproduto deve ter promovido uma maior disponibilidade de nutrientes às plantas que, por sua vez, influenciaram o seu crescimento. Silva et al. (2011), avaliando o efeito de doses e épocas de incubação de cama-de-frango no desenvolvimento inicial do milho, verificaram que a utilização de doses deste adubo exerceu efeito positivo na altura e matéria seca da parte aérea das plantas de milho.

As diferenças observadas no DC, MSPA, AP e NF entre os dois solos, pode ser atribuída à provável deficiência de fósforo observada nas plantas cultivadas no Argissolo Amarelo, acarretando redução de crescimento nas plantas cultivadas neste solo. Concordando com o presente trabalho, Ferreira (2012), estudando os sintomas visuais da deficiência de macro e micronutrientes na cultura do milho, observou que a deficiência de fósforo afeta o porte da planta. Com o objetivo de avaliar o efeito da

omissão de macronutrientes em plantas de sorgo, Fonseca et al. (2008) observaram que a deficiência de fósforo reduziu a altura da planta, o diâmetro do caule, o número de folhas, resultando em uma redução da matéria seca da parte aérea. Em pesquisa semelhante com plantas de milho, Prado e Vidal (2008) verificaram que o milho teve o mesmo comportamento na ausência de fósforo.

Esta deficiência de fósforo não foi observada nas plantas de milho cultivadas no Latossolo Amarelo, possivelmente, pela maior disponibilidade do fósforo às plantas, em virtude da baixa adsorção deste elemento neste solo, pois, segundo Idris e Ahmed (2012), o teor de argila influencia o processo de adsorção de P, com maiores capacidades de adsorção em solos argilosos.

Estas suposições de melhor fornecimento de nutrientes pode ser confirmada, em parte, pelos teores e conteúdos acumulados de K nas plantas de milho (Figura 2), na qual se observa que as doses crescentes de subproduto de café influenciaram significativamente ($P=0,05$) os teores e os conteúdos de potássio na parte aérea das plantas milho. Estes teores e conteúdos foram superiores nas plantas cultivadas no Latossolo Amarelo, principalmente nas maiores doses, com equações quadráticas mais representativas para os teores de potássio nas plantas de milho. O maior teor de potássio na planta de milho no Argissolo Amarelo foi observado na dose estimada de 259 g vaso^{-1} de subproduto de café, com média de $8,35 \text{ dag kg}^{-1}$ de K; enquanto no Latossolo Amarelo, a dose de $224,34 \text{ g vaso}^{-1}$ proporcionaria um teor estimado máximo de $4,03 \text{ dag kg}^{-1}$ de K.

Houve um aumento linear no conteúdo de potássio nas plantas de milho cultivadas no Argissolo Amarelo (Figura 2), enquanto no Latossolo Amarelo a curva quadrática foi a que melhor representou o conteúdo de potássio nas plantas de milho em função das doses de subproduto de café. Os incrementos observados comprovam o fornecimento deste nutriente às plantas pelo subproduto e os maiores conteúdos acumulados nas plantas cultivadas no Latossolo Amarelo, concordando com os dados de crescimento discutidos anteriormente.

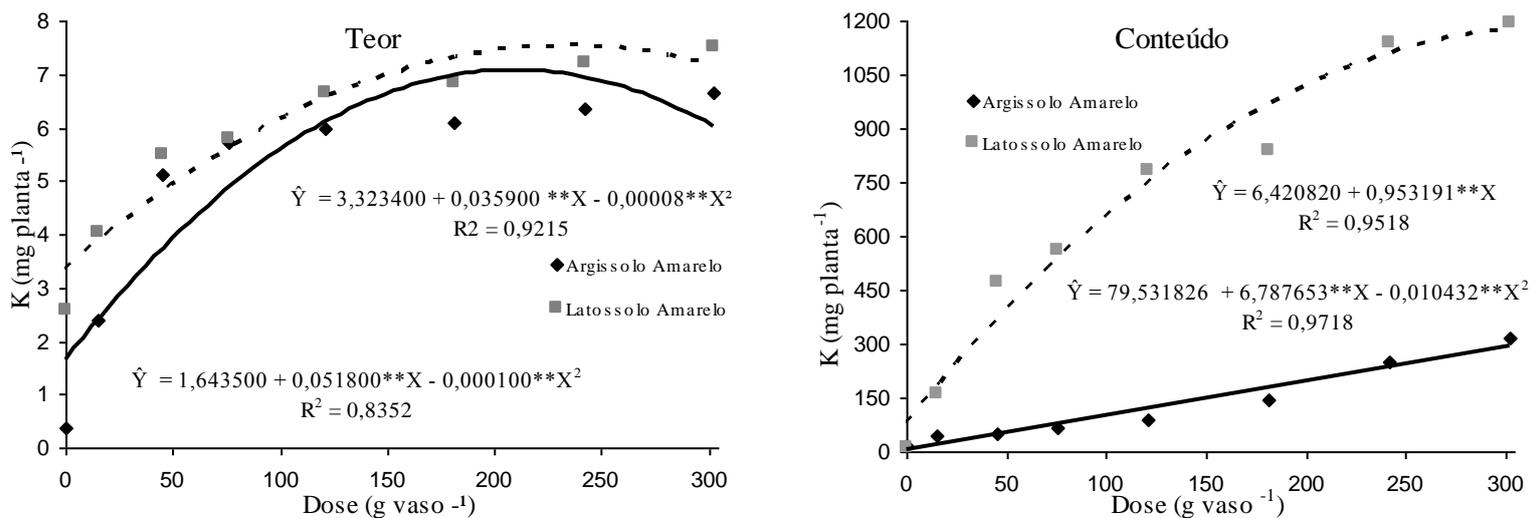


Figura 2. Teores (dag kg^{-1}) e conteúdos de potássio (mg planta^{-1}) na parte aérea de plantas de milho, aos 35 dias da emergência em função de doses de subproduto de café em dois solos de textura diferente.

As altas concentrações de potássio verificadas no subproduto de café (Tabela 3) proporcionaram o fornecimento de potássio trocável ao solo com a decomposição deste subproduto, podendo o mesmo ser absorvido pelas plantas de milho, suprimindo a demanda de potássio das plantas nestes solos (Tabela 2). Esta planta, segundo Olness e Bennoit (1992) e Costa et al. (2012), apresenta uma maior absorção de potássio entre os 30 e 40 dias de crescimento inicial, com maior exigência nutricional deste nutriente em relação ao P.

Borin et al. (2010), estudando a acumulação, extração e dinâmica de absorção de macronutrientes pela planta de milho, verificaram que a mesma absorveu o potássio em maiores proporções nos primeiros 30 dias de desenvolvimento e que o fósforo foi o quinto elemento mais absorvido pela parte vegetativa da planta. Primo et al. (2012), avaliando a aplicação de adubos orgânicos na absorção de nutrientes e a sua relação com a produtividade do milho, verificaram que os maiores teores de potássio na matéria seca da parte aérea foram observados no período de 30 dias após a emergência das plântulas e que após este período (60 e 90 dias) houve uma redução na absorção deste nutriente.

Isto pode ter ocorrido no presente estudo, pois os teores de K^+ trocável no solo aos 35 dias da emergência das plantas de milho, decresceram quando comparados aos do momento da semeadura (90 dias de incubação do subproduto), indicando absorção deste

nutriente pelas plantas (Capítulo 1). Diante disto, pode-se inferir que esta maior necessidade resultou em maior acúmulo deste nutriente nas plantas de milho e, com isso, diminuição dos teores de K^+ trocável do solo.

As plantas cultivadas no Latossolo Amarelo apresentaram maior conteúdo de potássio quando comparadas às cultivadas no Argissolo Amarelo (Figura 2). Segundo Viégas et al. (2011), a deficiência de fósforo reduz a produção dos compostos armazenadores de energia, como a ATP (adenosina trifosfato), estando esta energia associada à absorção ativa de nutrientes do solo. Diante disto, pode-se afirmar que a deficiência de fósforo nas plantas cultivadas no Argissolo Amarelo, resultou em uma menor absorção de potássio pelas plantas de milho.

As doses crescentes de subproduto de café ocasionaram efeito significativo ($P=0,05$) no teor e o conteúdo de fósforo nas plantas de milho. Verifica-se que as curvas linear e polinomial ajustaram de melhor forma os teores de fósforo nas plantas cultivadas no Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, respectivamente. Observa-se que o aumento das doses de subproduto de café proporcionou aumento nos teores de fósforo nas plantas de milho. Em relação ao conteúdo, as doses crescentes de subproduto de café influenciaram o conteúdo de fósforo nas plantas cultivadas de maneira diferenciada no Latossolo e no Argissolo, sendo melhor representadas pelas curvas polinomiais, as quais demonstraram que o aumento das doses de subproduto de café proporciona aumento no conteúdo de fósforo nas plantas de milho sem atingir o ponto de máximo.

Observa-se, também, que as maiores concentrações de fósforo na parte aérea das plantas ocorreram no Latossolo, pois neste solo o fósforo liberado durante a decomposição do subproduto de café permaneceu de forma disponível às plantas, o que não deve ter ocorrido no Argissolo, o qual deve ter tido rápida adsorção de fósforo pelas partículas do solo, logo após a mineralização do subproduto.

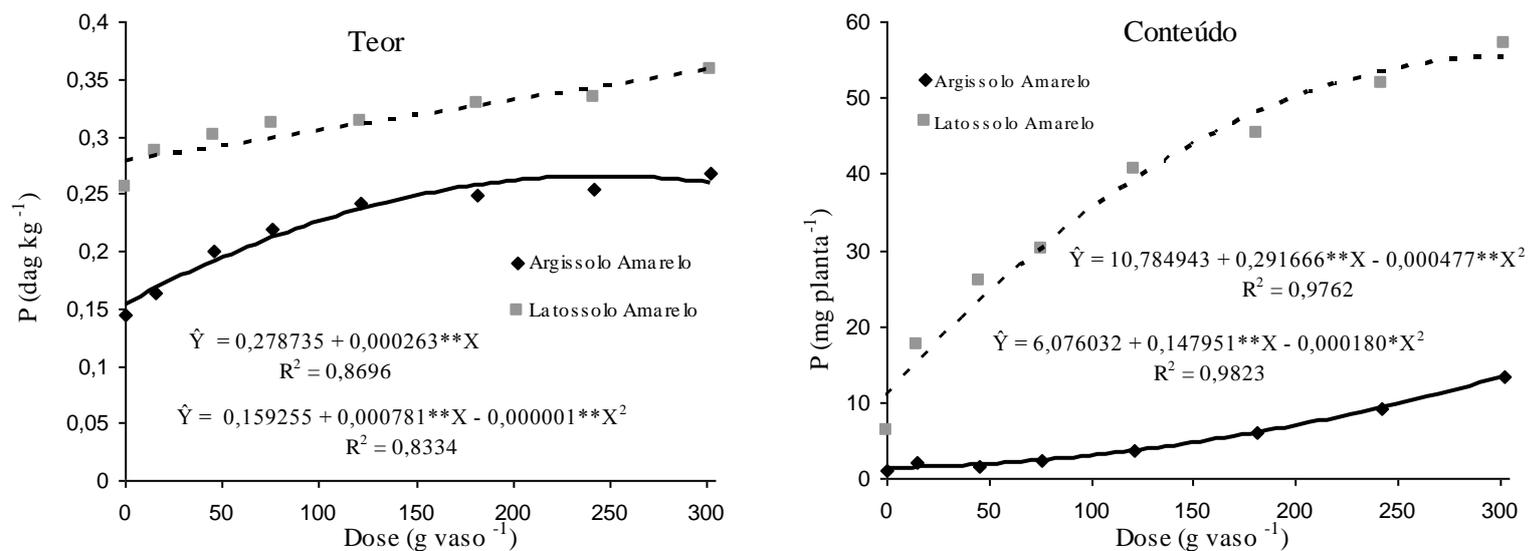


Figura 3. Teores (dag kg^{-1}) e conteúdos de fósforo (mg planta^{-1}) na parte aérea de plantas de milho, aos 35 dias da emergência em função de doses de subproduto de café em dois solos de textura diferente.

Estes resultados estão coerentes com a análise de fertilidade do solo, pois o teor de fósforo no Argissolo Amarelo era inferior ao encontrado no Latossolo Amarelo, e as plantas cultivadas neste solo apresentaram sintomas de deficiência de fósforo, folhas com coloração arroxeada nas bordas, além do Argissolo ser um solo de textura mais fina, provavelmente com elevados teores de óxidos, minerais com elevado poder de adsorção de fósforo.

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento do sistema radicular (COSTA et al., 2012), sendo assim, a sua deficiência reduz o crescimento das raízes, fazendo com que a área de solo explorado seja reduzida, resultando em uma menor absorção de nutrientes. Esta redução do sistema radicular ocorreu nas plantas cultivadas no Argissolo Amarelo, o que pode ter refletido na absorção de nutrientes e crescimento da planta.

Concordando com o presente trabalho, Araújo et al. (2008) comentam que o aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas através da adição de resíduo orgânico no solo ocorre em virtude da maior atividade microbiana no solo, o que favorece a maior solubilização do fósforo.

Primo et al. (2012), estudando a aplicação de adubo orgânico na absorção de nutrientes e a sua relação com a produtividade do milho, verificaram que os teores de

fósforo na parte aérea de plantas de milho foram maiores no período de 60 dias após a emergência das plântulas, quando comparado aos períodos de 30 e 90 dias. Diante disto, pode-se afirmar que o requerimento de fósforo pela planta de milho muda com a fase fenológica da cultura e, que no presente trabalho, as plantas de milho apresentaram uma menor demanda de fósforo quando comparado ao potássio.

Kasongo et al. (2013), avaliando o efeito de resíduo de café no crescimento, na absorção de nutrientes e no rendimento de plantas de azevém, observaram que a adição de resíduo de café no solo proporcionou aumento da absorção de K e P pelas plantas de azevém e os autores relatam que este aumento na absorção de nutrientes ocorreu devido à liberação de nutrientes durante o processo de mineralização deste resíduo.

O maior crescimento das plantas cultivadas no Latossolo Amarelo (Figura 1) está associado aos mais altos teores de potássio e fósforo encontrados nestas (Figuras 2 e 3), promovendo elevados conteúdos acumulados pelas mesmas (Figuras 2 e 3). A resposta diferenciada das plantas de milho às doses de subproduto comprova que o comportamento é variável de solo para solo. Adicionalmente, também é preciso entender a forma que cada espécie e variedade responde a aplicações desta natureza, evidenciando as diferenças que devem ser consideradas no manejo da adubação orgânica nas culturas agrícolas em geral.

4. CONCLUSÕES

- As plantas cultivadas no Latossolo Amarelo tiveram maior crescimento desde a fase inicial em relação às do Argissolo Amarelo;
- As plantas cultivadas no Latossolo Amarelo apresentaram os maiores teores e conteúdo de potássio e fósforo em relação às plantas do Argissolo Amarelo;
- O aumento nas doses do subproduto de café promoveu incrementos no crescimento das plantas, absorção e acúmulo de potássio e fósforo de maneira diferenciada entre os dois solos estudados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; YURI, J. E.; NUNES, U. R.; PIMENTA, F. L.; MATOS, C. S. M.; FLORIO, F. C. A.; MADEIRA, D. M. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.899-903, 2005.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 1003-1011, 2003.

ARAÚJO, F. F.; TIRITAN, C. S.; PEREIRA, H. M.; CAETANO JÚNIOR, O. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.507-511, 2008.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V. da; SILVA, I. de F.; RAPOSO, R. W. C.; OLIVEIRA, F. de A.; ALBUQUERQUE, A. W. de. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.485-491, 2010.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.380 –390, 2012.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo¹. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1591-1597, 2010.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 143-153, 2003.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, v.1, p. 12 - 26, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba. I – Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.623-632, 2009.

FERNANDES, A. L. M.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, E. F.; LEITÃO, A. R. F. Desenvolvimento inicial do milho em função de diferentes teores de esterco bovino. **Revista Verde**, v.7, p. 15 – 18, 2012.

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

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010¹. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, p. 74-83, 2012.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 113-124, 2008.

GOUVEA, B. M.; TORRES, C.; FRANCA, A.S.; OLIVEIRA, L. S.; OLIVEIRA, E. S. Feasibility of ethanol production from coffee husks. **Biotechnology Letters**, v. 31, p. 1315-1319, 2009.

GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, v.95, p. 1- 16, 2001.

IDRIS, O. A. A.; AHMED, H. S. Phosphorus sorption capacity as a guide for phosphorus availability of selected Sudanese soil series. **African Crop Science Journal**, v. 20, p. 59 – 65, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 26 de Junho de 2013.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212p.

KASONGO, R. K.; VERDOODT, A.; KANYANKOGOTE, P.; VAN RANST, E. Response of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) to coffee waste application on a humid tropical sandy soil. **Soil Use and Management**, v. 29, p.22–29, 2013.

LUCENA, L. F. C.; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. F. da; ANDRADE, A. P. de. Respostas do milho a diferentes níveis de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 334-337, 2000.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 70 – 76, 2011.

MATA, J. F.; SAILVA, J. C. da; RIBEIRO, J. F.; AFFÉRI, F. S.; VIEIRAS, L. M. Production of hybrid corn under doses of bovine manure. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.3, p. 125-134, 2010.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V. H.;

SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.393-486.

OLNESS, A.; BENOIT, G. R. A closer look at corn nutrient demand. **Better Crops with Plant Food**, v. 76, p. 18 – 20, 1992.

PARRA, A. R. P.; MOREIRA, I.; FURLAN, A. C.; PAIANO, D.; SHECER, C.; CARVALHO, P. L. O. Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.433-442, 2008.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

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

PRADO, R. M.; VIDAL, A, A. Efeitos da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milheto¹. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 208-214, 2008.

ROCHA, F. C.; GARCIA, F.; FREITAS, A. W. P.; SOUZA, A. L.; GOBBI, K. F.; VALADARES FILHO, S. C.; TONUCCI, R. G.; ROCHA, G. C. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite¹. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.2163-2171, 2006.

RODRIGUES, W. N.; NICOLINE, H. O.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. do. Tipos de adubação sobre a taxa de crescimento inicial da Mamoneira. **Revista Nucleus**, v.8, p. 327-332, 2011.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.297-300, 2005.

SANTOS, A. F. dos; MENEZES, R. S. C.; FRAGA, V. S.; PÉREZ- MARIN, A. M. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1267–1272, 2010.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T.; OLIVEIRA, M. E. C.; BEZERRA, S. A.; SANTOS, M. do C. C. A. Adubação orgânica na cultura do milho no Brejo Paraibano¹. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 209-216, 2009.

SANTOS, M. R. dos; SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. dos; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M. Produção de milho-verde em resposta ao efeito residual da adubação orgânica do quiabeiro em cultivo subsequente. **Revista Ceres**, v. 58, p. 77-83, 2011.

SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, v.16, p.1-120, 1991.

SILVA, T. R. da; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; SANTOS, C. J. L.; GOMES, G. V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama-de-frango¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.903–910, 2011.

SOUSA, G. G.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p. 237-245, 2012.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v.6, p.01-07, 2010.

VIÉGAS, I. de J. M.; NAIFF, A.P.M.; CONCEIÇÃO, H.E.O.; LOBATO, A.K. da S.; FRAZÃO, D.A.C; CORDEIRO, R.A.M. Visual symptoms, growth and nutrients of *Alpinia purpurata* plants exposed to N, P, K, Ca, Mg and S deficiencies. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 9, p. 1048 -1051, 2011.