

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JANA DAISY HONORATO BORG

**APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS EM SOLOS
SOB PLANTIO DIRETO: FERTILIDADE DO SOLO, PRODUTIVIDADE E
ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM MILHO.**

CURITIBA

2011

JANA DAISY HONORATO BORGIO

**APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS EM SOLOS
SOB PLANTIO DIRETO: FERTILIDADE DO SOLO, PRODUTIVIDADE E
ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM MILHO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti
Co-orientador: Prof. Dr. PhD. Antônio Carlos Vargas Motta

CURITIBA

2011



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO (MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax: 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **JANA DAISY HONORATO BORG**O, sob o título: "**Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes pelo milho**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 04 de julho de 2011.

Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente

Prof. Dr. Sandro José Giacomini, Iº. Examinador

Profª. Drª. Fabiane Machado Vezzani, IIª. Examinadora

Borgo, Jana Daisy Honorato Borgo

Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em milho. / Jana Daisy Honorato Borgo. – Curitiba, 2011.

81 f.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Prof. Antônio Carlos Vargas Motta

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

1. Dejeito bovino. 2. Atributos químicos do solo. 3. Resíduos de animais. 4. Ciclagem de nutrientes. 5. Campos Gerais. I. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo II. Título.

À Ivone e ao Antonio, meus pais por todo amor e cuidado, carinho e dedicação, orações e força nos momentos difíceis, incentivo e ajuda nas decisões, apoio incondicional em todos os momentos da minha vida e por caminhar e sonhar comigo.

Ao Juan, meu irmão por seu amor, ajuda e compreensão.

Aos meus familiares e amigos pela atenção, amizade e por torcerem por mim.

Ao Daniel, meu namorado pelo incentivo, carinho, atenção e ajuda dedicadas a mim.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por ter me abençoado com tantas oportunidades e uma família maravilhosa e ainda por ter respondido às minhas orações.

Aos meus pais, Ivone e Antônio, pelo suporte, força e incentivo, sem o qual eu não poderia ter chegado até aqui.

Ao meu orientador, Prof^o Volnei Pauletti, pela acolhida, orientação, amizade e por compartilhar seus ensinamentos que muito contribuíram na minha formação profissional e pessoal, bem como na realização deste trabalho.

Aos professores do Programa com os quais tive o privilégio de aprender e poder desenvolver todo o andamento deste trabalho, principalmente aos Professores Nerilde Favaretto pela criação do projeto, pela acolhida no momento da minha chegada ao programa, pelas idéias e atenção dedicada e paciência em sua disciplina, que me ensinou a interpretar os artigos científicos e ao Antonio Carlos Vargas Motta que contribuiu com seus conhecimentos, ensinamentos e dedicação na correção deste trabalho.

Aos funcionários dos laboratórios de mineralogia, biogeoquímica e fertilidade do solo, em especial a Maria e Aldair, pela presteza e amizade.

Aos estagiários Barbára, Leandro, Ana Beatriz, Paulo Carachenski e Miguel, que ajudaram na árdua rotina de laboratório.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para sua conclusão, Muito Obrigado.

APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS EM SOLOS SOB PLANTIO DIRETO: FERTILIDADE DO SOLO, PRODUTIVIDADE E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM MILHO¹

RESUMO

O uso de dejetos líquidos de bovinos (DLB) é uma prática comum nas regiões leiteiras do Estado do Paraná, mesmo com escassez de informações sobre seu efeito na planta e solo. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de DLB sobre componentes da fertilidade do solo, nutrientes na planta e produtividade de milho, por quatro anos consecutivos em Latossolo Bruno, cultivado em SPD a mais de 20 anos, e por três anos e meio em Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado em SPD a mais de 12 anos. Os tratamentos utilizados foram doses de DLB de gado de leite confinado (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Parâmetros químicos do solo foram avaliados em amostras de solo das profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Também foram avaliadas a produtividade e a concentração de nutrientes na biomassa aérea do milho em Latossolo Vermelho-Amarelo e biomassa aérea e grãos quando da colheita em Latossolo Bruno. A produtividade de grãos de milho aumentou com uso de DLB em Latossolo Bruno, mas sem alteração na concentração de nutrientes nos grãos. Em Latossolo Vermelho-Amarelo, no entanto, não houve efeito para a produtividade de milho. A produção da massa seca da biomassa aérea não foi afetada em ambos os experimentos, mas a aplicação de DLB aumentou os teores de N e K e diminuiu os de Ca, Mg, Mn e a relação C/N e C/P. Acréscimos nos teores de N, P e K e diminuição da relação C/N e C/P foram verificados em Latossolo Vermelho-Amarelo. A camada de solo de 0-10 cm foi a mais influenciada pela aplicação de DLB com diminuição da acidez em ambos os solos avaliados. Diminuição de Cu disponível foi encontrado apenas em Latossolo Bruno e aumento na disponibilidade de C e N total, Ca, Mg, P, K, Mn e Zn. O K disponível aumentou em todas as camadas avaliadas, sugerindo potencial de perda por percolação. Enquanto o P concentrou-se na camada superficial, em ambos os experimentos. O maior fornecimento de nutrientes com o aumento das doses de DLB foi responsável pelo aumento em produtividade em Latossolo Bruno o que não ocorreu em Latossolo Vermelho-Amarelo em função de inadequada precipitação pluviométrica.

Palavras-chave: 1. Gado de leite. 2. Atributos químicos do solo. 3. Resíduos de animais. 4. Ciclagem de nutrientes. 5. Campos Gerais.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (34 p.) Maio, 2011.

SUCCESSIVE APPLICATIONS OF DAIRY CATTLE MANURE IN SOIL NO TILLAGE: SOIL FERTILITY, YIELD AND NUTRITIONAL COMPOSITION²

SUMMARY

The use of dairy liquid manure (DLM) is a reality in the regions of Paraná State, even with little information on its effect on plant and soil. Thus, this study aimed to evaluate the influence of application of DLM, for four consecutive years in Castro and three and a half years in Ponta Grossa- PR, on components of soil fertility and plant nutrients, and productivity of maize. The study was conducted in a sand clay loam Oxissol in Ponta Grossa on no-tillage (NT) grown on more than 12 years or clay Oxissol grown on NT to more than 20 years, respectively. The treatments were doses of DLM in confined dairy liquid manure (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ yr⁻¹). Soil chemical parameters were evaluated in soil samples from depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. Were also evaluated productivity and nutrient concentration in grain and shoot corn at harvest. The grain yield increased linearly with use of DLM, but no change in the concentration of nutrients in Castro. In Ponta Grossa, however, there was no effect on corn yield. The production of shoot dry mass was unaffected in both experiments, but the application of DLM increased levels of N and K and decreased Ca, Mg, Mn and C / N ratio and C / P. Increases in N, P and K and decreased C / N ratio and C / P were found in Ponta Grossa. The 0-10 cm soil layer was most influenced by the application of DLM with reduced acidity in both soils studied. Reduction of Cu was only found in Castro and increased availability of C and N, Ca, Mg, P, K, Mn and Zn. O K available increased in all measured layers, suggesting potential loss by leaching. While P was concentrated in the topsoil in both experiments. Being one of those responsible for the increase in grain yield in Castro. The increase of N and K in aboveground biomass may be responsible for the increase of crop yield. As a result of increased nutrient supply with increasing doses of DLM and no influence on the biomass.

Keywords: 1. Cattle manure. 2. Chemical soil properties. 3. Animal waste. 4. Nutrient cycling. 5. Campos Gerais.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (34 p.) Jul, 2011.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra 2009/2010 em Castro – PR.	20
Figura 2. Teor de carbono (A), nitrogênio total (B), nitrato (C), acidez ativa (pH), (D) acidez potencial (H + Al) (E), cálcio (F) e magnésio (G) trocável em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) em Latossolo Bruno.	26
Figura 3. Teores de potássio (A) e fósforo (B) do solo em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) em Castro - PR.	27
Figura 4. Teores disponíveis de Zn (A), Fe (B), Cu (C) e Mn (D) em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) em Castro - PR.	28
Figura 5. Produtividade de grãos (A) e de biomassa aérea (B) de milho cultivado em um Latossolo Bruno Distrófico típico em função de doses de dejetos líquidos de bovinos (DLB) - Castro – PR.	29
Figura 6. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra de 2008/2009 em Ponta Grossa – PR.	47
Figura 7. Teor de carbono (A) nitrogênio (B) orgânico total e nitrato (C) em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino (DLB) em Latossolo Vermelho-Amarelo em Ponta Grossa – PR.	51
Figura 8. Acidez ativa (pH) (A), acidez potencial (H+Al) (B), teor de Ca (C) e de Mg (D) em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino (DLB) em Ponta Grossa - PR.	52
Figura 9. Potássio (A) e fósforo (B) no solo em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de DLB em Ponta Grossa - PR.	53
Figura 10. Teores de Cu (A), Zn (B), Mn (C) e Fe (D) em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino (DLB) em Ponta Grossa - PR.	54
Figura 11. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra 2008/2009 em Ponta Grossa – PR.	67
Figura 12. Produtividade de grãos (A) e de biomassa aérea de milho (B) cultivado em um Latossolo Vermelho- Amarelo em função de doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) – Ponta Grossa – PR.	71
Figura 13. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) e relação C/N (D) e C/P (E) na biomassa aérea de milho, em função de doses de dejetos líquidos de bovino (DLB), safra 2008/09 em Ponta Grossa - PR.	73
Figura 14. Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na biomassa aérea do milho em função de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino na safra agrícola 2009/2010.	74

Figura 15. Precipitação pluviométrica, em mm, do dia 1 a 31 do mês de dezembro de 2008 em Ponta Grossa – Paraná.....	77
--	----

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Características químicas e físicas do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em cinco profundidades, Castro – Paraná.....	20
Quadro 2. Anos agrícolas, culturas e quantidade de N, P e K aplicados por m ³ de dejetos líquido bovino e total de adubação mineral por safra na área experimental no período de novembro de 2006 à 2010 em Castro - PR.	22
Quadro 3. Teor de macronutrientes e micronutrientes na biomassa aérea menos grãos , de milho no ano agrícola 2009/2010 em função de doses de dejetos líquidos de bovinos (DLB) em Castro – PR. .	30
Quadro 4. Análise química e textural do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em cinco profundidades, Ponta Grossa – Paraná.	48
Quadro 5. Anos e safras agrícolas e quantidade de N, P e K da adubação com dejetos líquido bovino leiteiro (DLB) para cada m ³ de DLB aplicado, e na adubação mineral na área experimental no período de novembro de 2005 à abril de 2009.	49
Quadro 6. Análise química e textural do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em quatro profundidades, Ponta Grossa – Paraná.....	67
Quadro 7. Anos e safras agrícolas e quantidade de N, P e K da adubação com dejetos líquido bovino leiteiro (DLB) para cada m ³ de DLB aplicado, e na adubação mineral na área experimental no período de novembro de 2005 à abril de 2009.	69
Quadro 8. Teor de cálcio, magnésio, carbono e dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn na biomassa aérea de milho, em função de doses de dejetos líquido bovino (DLB) – safra 2008/09 em Ponta Grossa, PR.	72
Quadro 9. Acúmulo de nutrientes da parte aérea do milho em função de diferentes doses de dejetos líquido de bovinos leiteiros (DLB) em Ponta Grossa – PR na safra agrícola 2009/2010.	74
Quadro 10. Quantidade de nutriente na biomassa aérea do milho, para cada tonelada de grão produzida na safra agrícola 2009/2010, em função de diferentes doses de dejetos líquido de bovinos leiteiros (DLB) em Ponta Grossa - PR.	75

SUMÁRIO

LITERATURA CITADA.....	15
CAPÍTULO 1. APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS EM PLANTIO DIRETO: FERTILIDADE DO SOLO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE MILHO. CASTRO-PR.....	17
RESUMO	17
SUMMARY	17
INTRODUÇÃO	18
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS.....	24
Componentes da fertilidade do solo	24
Produtividade de grãos e de biomassa aérea	28
.....	29
Concentração de nutrientes nos grãos e na biomassa aérea do milho	29
DISCUSSÃO.....	30
Componentes da fertilidade do solo	30
Produtividade de grãos e de biomassa aérea	34
Teor de nutrientes em grãos.....	35
Nutrientes na biomassa aérea	37
CONCLUSÕES.....	38
LITERATURA CITADA.....	39
CAPÍTULO 2. DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS NO PLANTIO DIRETO: EFEITO DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS SOBRE A FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO DE TEXTURA MÉDIA NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL.....	45
RESUMO	45
INTRODUÇÃO	46
MATERIAL E MÉTODOS	47
RESULTADOS.....	50
Carbono e nitrogênio orgânico e total	50
Acidez, cálcio e magnésio	51
Potássio e fósforo	52
Micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn	53

DISCUSSÃO.....	54
Carbono e nitrogênio orgânico e total	54
Acidez, cálcio e magnésio	56
Potássio e fósforo	57
Micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn	58
CONCLUSÕES.....	59
CAPITULO 3. APLICAÇÃO SUCESSIVA DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS EM PLANTIO DIRETO PODE AUMENTAR A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS SEM AFETAR A PRODUTIVIDADE DO MILHO – PONTA GROSSA – PR.....	
RESUMO	65
SUMMARY	65
INTRODUÇÃO	65
MATERIAL E MÉTODOS	66
RESULTADOS.....	70
Produtividade de grãos e de biomassa aérea	70
Teor de nutrientes na biomassa aérea	71
Acúmulo de nutrientes na biomassa aérea.....	73
DISCUSSÃO.....	75
Produtividade de grãos e de biomassa aérea	75
Teor e acúmulo de nutrientes na biomassa aérea	77
CONCLUSÕES.....	79
LITERATURA CITADA.....	79

INTRODUÇÃO GERAL

O empobrecimento dos solos devido às perdas de nutrientes traz como conseqüências a necessidade do aumento do uso de fertilizantes e corretivos, e com isso o aumento dos custos de produção agrícola.

A utilização de dejetos líquidos de bovinos (DLB) pode ser uma alternativa sustentável para a diminuição dos custos de produção e fornecimento de nutrientes às plantas. Aumentos de produtividade da cultura do milho pela utilização de resíduos orgânicos gerados pelos criatórios de animais são constatados (Barcelos, 2005; Silva, 2005; Pauletti et al., 2008).

Estes dejetos são aplicados ao solo como adubo para incremento da produtividade das culturas, porém isso acarreta em riscos de perda de P e N, e de contaminação dos recursos hídricos em condições inadequadas de armazenamento ou de aplicação no campo (Sharpley et al., 2001; Shigaki et al., 2006; Mori et al. 2009).

Alguns trabalhos tem demonstrado aumento de nutrientes no solo pelo fornecimento de doses de esterco de animais (Queiroz et al., 2004; Sherer et al., 2007; Silva et al., 2010). Porém, pode ocorrer diminuição de perdas de P e N por escoamento superficial, (Mellek et al., 2010), desde que a aplicação seja feita em época de menores pluviosidades (Silveira, 2009). Utilizado também como corretivo, aumento do pH foram verificados por Silva et al. (2008) e Motavalli & Miles (2002), devido a presença de materiais alcalinizantes (Whalen et al., 2000) podendo diminuir os efeitos tóxicos do Al trocável (Ernani & Gianello, 1983). São observados também o aumento no teor de nutrientes em plantas, como o milho, sob adubação com DLB (Lithourgidis et al., 2007).

As maiores dúvidas, quando da utilização de esterco na adubação, estão ligadas aos efeitos a longo prazo que venham a ocorrer na condição de não-revolvimento do solo. O melhor entendimento das modificações nos atributos químicos do solo, decorrentes da reciclagem de resíduos orgânicos e do uso de esterco na adubação, pode fornecer subsídios para produção em bases sustentáveis, sem comprometer o ambiente (Sherer et al., 2010).

O DLB pode ser encontrado em grande volume na região dos Campos Gerais do Paraná, que se destaca por apresentar a terceira maior produção de leite em confinamento do Brasil, sendo o município de Castro o campeão de produção de leite no País, com um volume de 166 milhões de litros em 2009 (IBGE, 2009). Nesta região, normalmente é aplicada a dose de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB sob o sistema de plantio direto (SPD) (Silveira, 2009) dose baseada na produção de DLB e área disponível para a aplicação na propriedade.

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação orgânica com DLB, após um período de aproximadamente quatro anos de aplicação, sobre os componentes da fertilidade do solo, produtividade e conteúdo de nutrientes em plantas de milho na região dos Campos Gerais do Paraná, em Latossolo Bruno no município de Castro e em Latossolo Vermelho-Amarelo em Ponta Grossa.

Esta dissertação está dividida em capítulos, apresentados na forma de artigo científico compostos por resumo, abstract, introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusão e literatura citada. O primeiro capítulo contempla as avaliações feitas no solo, plantas e grãos de milho, no experimento realizado em um Latossolo Bruno, muito argiloso de Castro –PR. No segundo, são abordados componentes da fertilidade do solo no experimento realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura franco- argilo-arenosa em Ponta Grossa-PR. E no terceiro capítulo, a absorção de nutrientes, quantidade de nutrientes alocados na biomassa aérea e a produtividade do milho no experimento de Ponta Grossa-PR.

LITERATURA CITADA

BARCELOS, M. Adubação orgânica e mineral na produção de culturas em rotação sob plantio direto e nas propriedades químicas do solo da região dos campos gerais do Paraná – Curitiba. Dissertação de mestrado. UFPR, Curitiba, 2005.

ERNANI, P. R; GIANELLO, C. Diminuição do Alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. R. Bras. de Ci. do Solo, 7:161–165, 1983.

IBGE, Censo Agropecuário 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009>>. Acessado em 5 de janeiro de 2011.

LITHOURGIDIS, A.S; MATSI, T; BARBAYIANNIS, N; DORDAS, C.A. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition and soil properties. Agron. J. 99:1041–1047,2007.

MELLEK,,J.E.; DIECKOW. J.; SILVA,V.L.da.; FAVARETTO, N, PAULETTI,V.; VEZZANI, F.M.; SOUZA, M, J.L. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. Soil and Till. Res. 2010.

MORI, H.F; FAVARETTO, N; PAULETTI,V; DIECKOW,J; SANTOS,W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. R. Bras. de Ci. do Solo 33:189–198, 2009.

MOTAVALLI P. P; MILES R. J. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. Biology Fert. Soils, 36:35–42,2002.

PAULETTI, V; BARCELLOS, M; MOTTA, A.C.V; SERRAT, B. M; SANTOS, I.R dos; Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. Sci. Agraria, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 199 – 205, 2008.

QUEIROZ, F. M de; MATOS, A. T de; PEREIRA, O. G & OLIVEIRA, R. A. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. Ci. Rural, Santa Maria, 34:1487–1492, 2004.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. Plant Soil, 237:287 -307, 2001.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 34:1375-1383, 2010.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal – based agricultural, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. Sci. Agric, Piracicaba, 63: 194-209, 2006.

SILVA, J.C.P da. Esterco líquido de gado de leite e adubação mineral influenciando a produção de silagem e propriedades químicas do solo na região dos Campos gerais do Paraná. Dissertação de mestrado em Ciência do solo, UFPR, 2005.

SILVA, J. C. P da; MOTTA, A. C. V; PAULETTI, V; FAVARETTO, N; BARCELLOS, M; OLIVEIRA, A. S. de, VELOSO, C. M & SILVA, L. F. C e. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um LATOSSOLO BRUNO. R. Bras. Ci. Solo, 32:2538-2572, 2008.

SILVA, J.C.P.M.da; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C.M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A.S.de & SILVA, L.F.C.e. Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 34, 2010.

SILVEIRA, F.M.; Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo franco –argilo – arenoso sob plantio direto e chuva natural. Dissertação de mestrado em Ciência do solo, UFPR, 2009.

WHALEN, J. K; CHANG, C, CLAYTON, CAREFFOT, G. W. & CAREFFOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Amb. J. 64: 962-966, 2000.

CAPÍTULO 1. APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS EM PLANTIO DIRETO: FERTILIDADE DO SOLO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE MILHO. CASTRO-PR.

RESUMO

O uso de dejetos líquidos de bovino (DLB) é uma realidade nas regiões leiteiras do Estado do Paraná, mesmo com escassez de informações sobre seu efeito sobre a planta e solo. Assim, com o intuito de auxiliar na definição dos critérios para a aplicação de DLB em áreas sob plantio direto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de DLB por quatro anos consecutivos sobre componentes da fertilidade do solo, nutrientes na planta, e sobre a produtividade de milho. O estudo foi conduzido em um Latossolo Bruno em Castro-Paraná, cultivado sob plantio direto por mais de 20 anos. Os tratamentos utilizados foram doses de DLB de gado de leite confinado (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Parâmetros químicos do solo foram avaliados em amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Também foram avaliadas a produtividade e a concentração de nutrientes nos grãos e na matéria seca da biomassa aérea do milho quando da colheita. A produção da biomassa aérea não foi afetada, mas a aplicação de DLB aumentou os teores de N e K e diminuiu os de Ca, Mg, Mn e a relação C/N na planta. A camada de solo 0-10 cm foi a mais influenciada pela aplicação de DLB com diminuição da acidez e Cu disponível e aumento na quantidade de C e disponibilidade de N, Ca, Mg, P, K, Mn e Zn. O K disponível aumentou em todas as camadas de solo avaliadas, sugerindo potencial de perda por percolação. Ao contrário do P que concentrou-se na camada superficial, indicando baixo potencial de perda por lixiviação. O uso de DLB propiciou aumento em produtividade de grãos, mas sem alteração na concentração de nutrientes. O aumento de N e K na biomassa aérea pode ser o responsável pelo aumento do rendimento da cultura, como resultado do maior fornecimento de nutrientes com o aumento das doses de DLB. O uso de DLB combinada com adubação mineral, em condições adequadas de pluviosidade, em solo muito argiloso, contribuiu com aumento em produtividade do milho.

Palavras-chave: 1. Atributos químicos do solo. 2. Resíduos de animais. 3. Ciclagem de nutrientes. 4. Campos Gerais.

SUMMARY

The use of dairy liquid manure (DLM) is a reality in the regions of Paraná State, even with little information on its effect on plant and soil. Thus, this study aimed to evaluate the influence of application of DLM for four consecutive years on components of soil fertility, plant nutrients, and productivity of maize. The study was conducted in a Oxisol in Castro Parana, grown on no-till for over 20 years. The treatments were doses of DLM in confined dairy cattle (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ yr⁻¹). Soil chemical parameters were evaluated in soil samples at depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. Were also evaluated productivity and nutrient concentration in grain and shoot corn at harvest. The production of biomass was not affected, but the application of DLM increased levels of N and K and decreased Ca, Mg, Mn and C / N ratio in the plant. The 0-10 cm soil layer was most influenced by the application of DLB with decreased acidity and Cu and increased de C and availability of N, Ca, Mg, P, K, Mn and Zn. O K available increased in all evaluated soil layer, suggesting potential loss by leaching. Instead, the P that focused on the superficial layer, indicating low potential for leaching loss. The use of DLM time increased in grain yield, but no change in the concentration of nutrients. The increase of N and K in aboveground biomass may be responsible for the increase in crop yield as a result of increased

nutrient supply with increasing doses of DLM. The use of DLM with mineral fertilizer in adequate rainfall, in very loamy soil, contributes to increased productivity of maize.

Keywords: 1. Chemical soil properties. 2. Animal waste. 3. Nutrient cycling. 4. Campos Gerais.

INTRODUÇÃO

A utilização de dejetos líquidos de bovinos (DLB) tem se destacado como uma alternativa sustentável para a diminuição dos custos de produção. Esses dados foram evidenciados pelos aumentos em produtividade obtidos na região dos Campos Gerais no Paraná pela utilização de resíduos orgânicos gerados pelos criatórios de animais, como o esterco líquido de gado de leite (Pauletti et al., 2008).

O DLB pode ser encontrado em grande volume nesta região, que se destaca por apresentar a terceira maior produção de leite em confinamento do Brasil, sendo o município de Castro o campeão de produção de leite no País, com um volume de 166 milhões de litros em 2009 (IBGE, 2009). Estes dejetos são aplicados ao solo como adubo para incremento da produtividade das culturas, porém isso acarreta em riscos de perda de P e N, e de contaminação dos recursos hídricos em condições inadequadas de armazenamento e aplicação no campo (Sharpley et al., 2001; Shigaki et al., 2006; Mori et al., 2009). Nesta região, normalmente, é aplicada a dose de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB sob o sistema de plantio direto (SPD) (Silveira, 2009), porém sem critério definido quanto aos efeitos na produção e riscos de contaminação do ambiente.

O uso de esterco pode influenciar as propriedades químicas do solo em função das características químicas do esterco aplicado (Comissão de química de fertilidade do solo, 2004), da dose (Silva et al., 2008; Silva et al., 2010), do tempo de uso (Lithourgidis et al., 2007) e das características químicas do solo (Dordas et al., 2008). O efeito sobre a acidez do solo, por exemplo, como elevação do pH (Silva et al., 2008), é devido a presença de agentes alcalinizantes no esterco (Whalen et al., 2000) ou ação complexante dos compostos orgânicos (Ernani & Gianello, 1983).

Quando a quantidade de nutrientes adicionada através dos adubos é superior à exportada pelas colheitas pode haver acréscimo destes nutrientes na camada superficial (Kingery et al., 1994) ou mesmo nas camadas mais profundas do solo para os elementos móveis (Chang et al., 1991; Silva et al., 2010). Se este saldo positivo ocorrer no SPD, em que não há revolvimento do solo, principalmente para os nutrientes com menor mobilidade, como é o caso do P, geralmente ocorre maior concentração nas camadas superficiais (Falleiro et al.,

2003; Andreola et al., 2000). Esse fato é observado quando são utilizados adubos orgânicos em sistemas com baixo grau de mobilização do solo (Queiroz et al., 2004; Silva et al., 2010). Contudo, mudanças na acidez ou mesmo elevação da matéria orgânica do solo (MOS) pela adição de esterco pode aumentar a adsorção de alguns elementos adicionados e diminuir a disponibilidade de alguns micronutrientes catiônicos como Zn (Leonel & Damatto Júnior et al., 2008).

As respostas da planta ao uso de esterco são variáveis. No caso do milho, já foi constatado grande acréscimo na produção de grãos (Mtambanengwe & Mapfumo, 2006), porém, em alguns casos não encontraram efeito sobre a produtividade desta cultura (Pauletti et al., 2008). A aplicação de esterco também pode proporcionar mudança no crescimento e concentração de nutrientes nos diferentes tecidos de planta.

A concentração de nutrientes na palha tem grande importância em função da ciclagem ou dos processos de mobilização ou mineralização dos nutrientes. Recentemente a possibilidade de utilização dos resíduos da colheita do milho para produção de energia (Salla et al., 2010), tem levantado a necessidade de observar a composição de nutrientes no mesmo, afim de estabelecer a exportação de nutrientes de materiais genéticos mais recentes. Lithourgidis et al. (2007), constataram que o teor de N, P e K na biomassa nas plantas de milho pode variar quando se aplica DLB em relação ao adubo mineral, sugerindo comportamento diferente quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas.

Embora a concentração dos nutrientes nos grãos tenha grande valor quanto ao aspecto nutricional do mesmo, efeito do uso de esterco sobre o teor nos grãos vem sendo pouco pesquisado.

Estudos envolvendo todos os parâmetros citados acima são raros, principalmente em condição subtropical e com residual de vários anos de aplicação de DLB. Este tipo de trabalho contribui para a definição de critérios para a aplicação segura de DLB quanto à produção das culturas e concentração de nutrientes no solo. Assim, o trabalho teve por objetivo verificar as variações ocorridas no solo, na produtividade e no teor de nutrientes na planta e nos grãos de milho, após quatro anos de uso de DLB, em um Latossolo Bruno, muito argiloso, no Município de Castro – PR.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e condução experimental

O trabalho foi conduzido em experimento de longo prazo instalado em maio de 2006 na Estação Experimental de Castro – PR, pertencente à Fundação ABC. O solo é classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico ácrico A proeminente (EMBRAPA/FABC, 2001), textura muito argilosa, com declividade de 9,6%, situado no terço médio da encosta. O clima local é subtropical, classificado como “Cfb”, de acordo com o esquema de Köppen.

Na Figura 1 são apresentados os dados médios mensais de precipitação pluviométrica e de temperatura ocorridos durante o desenvolvimento do milho na safra de 2009/10. No mês de outubro houve precipitação de 170 mm de chuva, suficiente para a fase inicial do milho (Fancelli, 2008). Nos meses de novembro e dezembro houve precipitação de aproximadamente 110 mm. O mês de dezembro coincidiu com o florescimento do milho, fase sensível à deficiência hídrica. As temperaturas médias observadas durante o desenvolvimento do milho variaram entre 14 e 22°C (Figura 1).

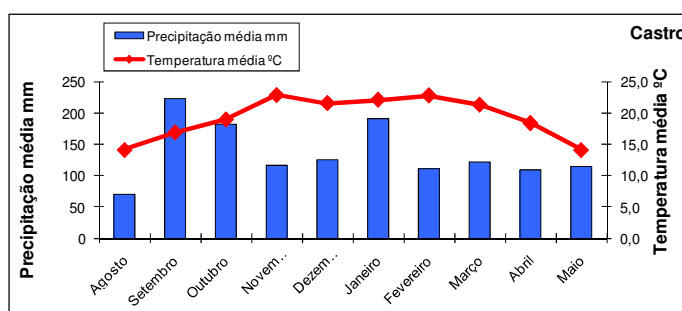


Figura 1 Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra 2009/2010 em Castro – PR.

As características da fertilidade inicial do solo encontram-se no Quadro 1. Como a área experimental estava sendo manejada no sistema de plantio direto a mais de 20 anos, com duas safras anuais, uma de inverno e outra de verão, percebe-se acentuada concentração dos nutrientes na superfície do solo. Somente o teor de P encontra-se em níveis médios.

Quadro 1. Características químicas e físicas do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em cinco profundidades, Castro – Paraná.

Profundidade	p H	p H	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C	Argila	Areia total	Silte
cm	CaCl ₂	SMP			cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³	g dm ⁻³		g kg ⁻¹	
0 2,5	5,6	6,3	0	4,0	6,6	2,5	0,5	4,2	31,7	663	61	150
2,5 5	5,5	6,2	0	4,3	5,8	1,9	1,3	4,2	31,7	700	66	104
5 10	5,3	6,0	0	5,0	5,0	1,3	0,2	3,7	26,9	700	73	101
10 20	5,3	6,1	0	4,5	4,5	1,0	0,2	2,5	22,0	712	66	109
20 30	5,4	6,3	0	4,0	3,9	0,8	0,1	1,0	19,0	725	73	99

Para este trabalho, avaliou-se o milho da safra 2009/10, semeado no dia 18/09/2009. A adubação mineral foi igual em todos os tratamentos, sendo aplicados 300 kg ha^{-1} da fórmula 13:31:00 na semeadura e duas adubações de cobertura, sendo uma de 200 kg ha^{-1} de 25:00:25 à lanço, no dia 19/09/2009 e outra aplicação em cobertura à lanço de 135 kg ha^{-1} de uréia (45% de N), aos 11 dias após a emergência (DAE) do milho. A aplicação do DLB foi aos 36 DAE, em superfície, sem incorporação. Utilizou-se o milho híbrido P30F53, em espaçamento entre linhas de 0,8 m, com 75000 sementes por hectare.

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de dejetos líquidos de bovinos leiteiros (DLB) (0, 60, 120 e $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) dispostos no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, com cada parcela medindo $31,5 \text{ m}^2$. A dose anual de DLB foi parcelada em duas aplicações, sendo metade logo após a emergência da cultura de inverno e metade após a emergência da cultura de verão.

Durante a condução do experimento, a partir de 2006, foi adotada a rotação de culturas apresentada no Quadro 2, sendo o milho e a soja culturas de verão e a aveia preta e o trigo, culturas de inverno. O sistema de cultivo foi o plantio direto.

Considerando a adubação mineral realizada desde o início do experimento (Quadro 2) foram aplicados a soma total por safra de 450, 167 e 207 kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente. Para cada m^3 de DLB, a quantidade média aplicada destes mesmos nutrientes, respectivamente, foi de 1,83, 0,69 e 1,78 kg.

A composição do DLB aplicado na safra 2009/10 foi de 4,49% de matéria seca, $2,6 \text{ kg Mg}^{-1}$ de N, $0,92 \text{ kg Mg}^{-1}$ de P, $1,92 \text{ kg Mg}^{-1}$ de K, $1,44 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Ca, $0,86 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Mg, $0,41 \text{ g Mg}^{-1}$ de Fe, $0,03 \text{ g Mg}^{-1}$ de Zn e Mn, $0,01 \text{ g Mg}^{-1}$ de Cu. O DLB utilizado provém de criação de bovinos leiteiros em sistema semi-confinado. Os nutrientes no DLB foram determinados por digestão via úmida de acordo com o método proposto por Hildebrand (1976).

Quadro 2. Anos agrícolas, culturas e quantidade de N, P e K aplicados por m³ de dejetos líquido bovino e total de adubação mineral por safra na área experimental no período de novembro de 2006 à 2010 em Castro - PR.

Ano Agrícola	Safr Agrícola	DLB			Adubação mineral		
		N	P	K	N	P	K
		kg por 1 m ³			kg ha ⁻¹ safra ⁻¹		
Inverno 06	Aveia Preta (comum)	1,83	0,77	0,35	0	0	0
Verão 06/07	Milho (P30F53)	1,76	0,61	2,37	187	48	67
Inverno 07	Aveia Preta (comum)	0,95	0,41	1,49	0	0	0
Verão 07/08	Soja (Fênix)	2,00	0,73	2,80	0	17	31
Inverno 08	Trigo (Supera	nd	nd	nd	114	39	41
Verão 08/09	Soja (NK 3363)	nd	nd	nd	0	22	34
Inverno 09	Aveia Preta (comum)	nd	nd	nd ²	0	0	0
Verão 09/10	Milho (P 30F53)	2,60	0,92	1,92	149	41	34
Média		1,83	0,69	1,78	450	167	208

¹ Adaptado de Timofiecsyk (2009)

² nd = Não determinado

Coleta e análises de plantas

Na maturação fisiológica do milho, aos 163 DAE, foram coletadas três plantas por parcela, para determinação da produtividade de massa seca (MS) e análise de nutrientes. As plantas foram cortadas logo acima do primeiro nó visível a partir da superfície do solo. Após a coleta os grãos foram separados manualmente, gerando uma amostra de grãos e outra de parte aérea menos grãos para cada parcela, que será chamada de biomassa aérea. Na sequência as amostras foram lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65° C e pesadas novamente para determinação da MS. A produtividade de biomassa aérea foi obtida pela multiplicação da massa seca das três plantas colhidas inteiras e posterior transformação para hectare, considerando a população final de plantas obtida na colheita. As três plantas foram selecionadas pelo seu peso estar mais próximo da média do peso fresco de 10 plantas obtido a campo, conforme Pauletti (2004).

As plantas e grãos de milho foram moídas em moinho tipo “wiley” e após pesagem de aproximadamente 1g foi feita a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn, através de digestão via seca e solubilização em 10 mL de HCl 3 mol L⁻¹ (Martins & Reissmann, 2007).

A determinação do P foi realizada por colorimetria com molibdato-vanadato de amônio de reação amarela, lido no espectrofotômetro UV – VIS 1 na faixa de 420 nm em até duas horas. O K foi determinado por fotometria de emissão e os elementos Ca, Mg, Fe, Mn,

Cu e Zn, por espectroscopia de absorção atômica com chama (Martins & Reissmann, 2007). As análises do N-total e C-total foram efetuadas por combustão via-seca, por meio do aparelho VARIO EL III - Elementar®.

A produtividade de grãos foi obtida pela colheita das espigas de 6 linhas de 2 metros em cada parcela. Após a trilha mecânica, determinou-se o peso e a umidade dos grãos, com posterior correção para 130 g kg^{-1} de umidade e extrapolação para hectare. A massa de mil grãos (MMG) foi determinada através da contagem de 250 grãos obtidos após o processamento das amostras para a determinação da produtividade, com posterior correção para 130 g kg^{-1} de umidade e multiplicação por quatro. A população final de plantas e de espigas foi obtida através da contagem de todas as plantas colhidas para a determinação da produtividade de grãos.

Coleta e análises de solo

Após a colheita do milho, foram coletadas amostras de solo em seis profundidades: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. As amostragens foram feitas nas entrelinhas da cultura do milho. Para compor as amostras foram coletadas aleatoriamente quinze sub-amostras na área útil da parcela, utilizando o trado calador até a profundidade de 40 cm e cinco sub – amostras com trado holandês de 40 cm até a profundidade 100 cm.

O pH foi obtido através de leitura potenciométrica com solução de CaCl_2 0,01 N relação solo/solução 1:2,5. A acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) foi estimada após a leitura do pH com a adição de solução tamponada SMP às amostras de solo, utilizando-se a correlação com o índice de SMP (Raij & Quaggio, 1983). O Ca e o Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L^{-1} , após essa etapa por titulação com Na(OH) foi extraído o Al. O P e K foram extraídos com Mehlich 1 conforme (Pavan et al., 1992).

O N-NO_3^- foi extraído com KCl 2 mol L^{-1} com proporção de solo:água de 1:10, ocorrendo agitação seguida de centrifugação para filtragem em membrana de $0,45 \text{ }\mu\text{m}$, utilizando-se espectrofotômetro de absorção ultravioleta UV-1601, da marca Shimadzu, sendo determinado pela diferença com redução do nitrato com Zn metálico (Heinzmann et al., 1984). As análises do N e C total foram efetuadas por combustão via-seca, por meio do aparelho VARIO EL III - Elementar®.

Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa ASSISTAT Versão 7.5 beta (2010), fazendo a análise de homogeneidade através do teste de Bartlett, análise de variância e análise de regressão. A produtividade de biomassa e de grãos e os teores de nutrientes nas plantas e no solo foram submetidas à análise de correlação de Pearson pelo programa estatístico R.

RESULTADOS

Componentes da fertilidade do solo

Os teores de carbono e nitrogênio total do solo aumentaram com o aumento das doses de DLB apenas na camada mais superficial de 0-10 cm (Figura 2A). Indicando sua relação com a matéria orgânica (MO) do DLB aplicado. O efeito nesta camada é justificado pela aplicação durante os quatro anos de DLB em superfície, sem incorporação, no SPD, onde a permanência dos resíduos culturais na superfície do solo além da maior concentração de raízes das plantas contribui para este acúmulo em superfície. Este aumento no C total é expressivo uma vez que o teor do mesmo já era elevado ($31,7 \text{ g dm}^{-3}$) (Quadro 1) e o solo vinha sendo utilizado com SPD por mais de 20 anos.

Não houve efeito da aplicação do DLB sobre o teor de NO_3^- no solo (Figura 2C). Apesar de ser uma avaliação pontual no tempo, este resultado sugere não ter ocorrido lixiviação de NO_3^- para as condições do estudo.

Assim como o C e N, o efeito alcalinizante do DLB foi observado com o aumento de pH e diminuição da acidez potencial (H+Al) (Figura 2 D e E), além da adição de Ca e Mg, somente na camada superficial do solo de 0-10 cm, com exceção do Mg que também aumentou na profundidade de 10-20 cm devido sua maior mobilidade no solo (Figura 2G).

Estes efeitos sobre a acidez são consequência da ação neutralizante dos compostos presentes no DLB, enquanto que para os teores de Ca e Mg, o aumento é devido à adição de aproximadamente 1,44 e 0,86 kg de Ca e Mg para cada m^3 aplicado, respectivamente.

Com o aumento da profundidade do solo avaliada, percebe-se que o pH do solo é maior (Figura 2D), pois o solo utilizado é um Latossolo Bruno, com caráter ácido, com maior presença de CTA no horizonte B. Contudo, a maior quantidade de MO nas camadas superiores é a responsável pelo menor pH da camada superficial de 0 - 10 cm, sem a aplicação de DLB em relação às camadas mais profundas. Somente nesta camada a aplicação de DLB aumentou o pH do solo (Figura 2D).

Diferentemente do Ca e Mg, a concentração de K no solo aumentou em todas as profundidades avaliadas com o uso de DLB (Figura 3A). Na maior dose aplicada, os valores são classificados como muito altos mesmo na camada mais profunda, o que é um indicativo de perda de K por percolação ao longo dos anos, o que pode acarretar em lixiviação.

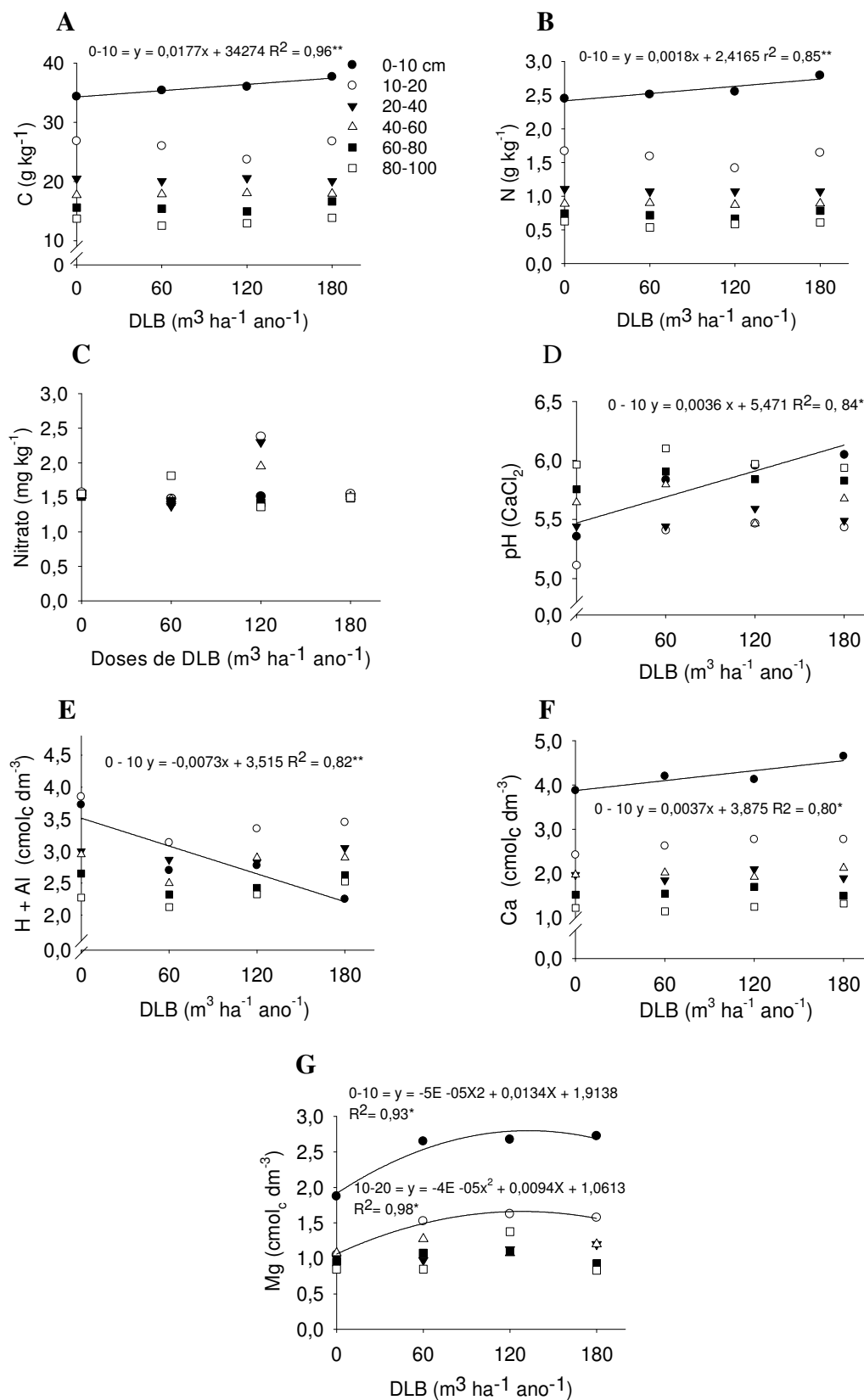


Figura 2. Teor de carbono (A), nitrogênio total (B), nitrato (C), acidez ativa (pH), (D) acidez potencial (H + Al) (E), cálcio (F) e magnésio (G) trocável em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquido bovino leiteiro (DLB) em Latossolo Bruno.

Tal fato se deve à aplicação de quantidades deste nutriente através da adubação mineral e do DLB acima da capacidade de absorção pelas plantas e da permanência da parte aérea do milho em SPD, com a colheita apenas dos grãos. Além de ser um cátion móvel em solos, o Latossolo Bruno ácrico, apresenta mais CTA que CTC em profundidade, facilitando a mobilidade dos cátions. A aplicação de DLB aumentou o teor de P somente na camada de 0-10 cm (Figura 3B).

Observa-se neste solo, elevado gradiente entre a camada de 0-10 cm e as mais profundas, que apresentam teores muito baixos de P (Comissão de química e fertilidade do solo, 2004). Esta concentração superficial reflete o efeito acumulativo da adubação mineral e orgânica feita nas culturas anuais implantadas na área, além da ausência de revolvimento do solo pelo SPD e da baixa mobilidade deste nutriente.

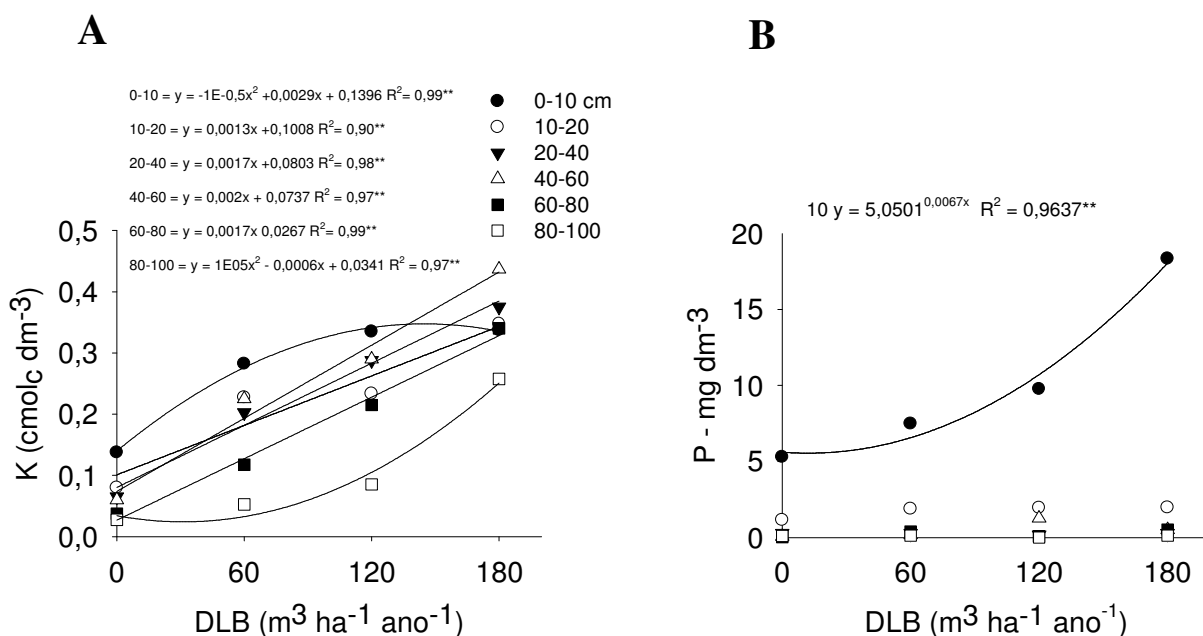


Figura 3. Teores de potássio (A) e fósforo (B) do solo em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) em Castro - PR.

A aplicação de DLB promoveu a diminuição de Cu e o aumento de Zn e Mn disponível na camada superficial de 0-10 cm (Figura 4 A, C e D)

O aumento na disponibilidade de Mn e Zn ocorreu mesmo com o aumento do pH, que em geral provoca decréscimo na disponibilidade do elemento. Provavelmente, o aumento da MO ocasionado pelo DLB nesta camada foi responsável pelo maior teor destes micronutrientes.

Houve expressivo acúmulo de Zn em função da alta concentração desses metais no DLB. A concentração de metais na superfície do solo em SPD é devido a sua baixa mobilidade do solo. Os teores de Zn, Mn e Fe encontram-se altos conforme a Comissão de química e fertilidade do Solo (2004). Somente o Cu está diminuindo de alto para médio com o aumento das doses de DLB na camada superficial do solo de 0-10 cm (Figura 4C) (Comissão de química e fertilidade do solo, 2004).

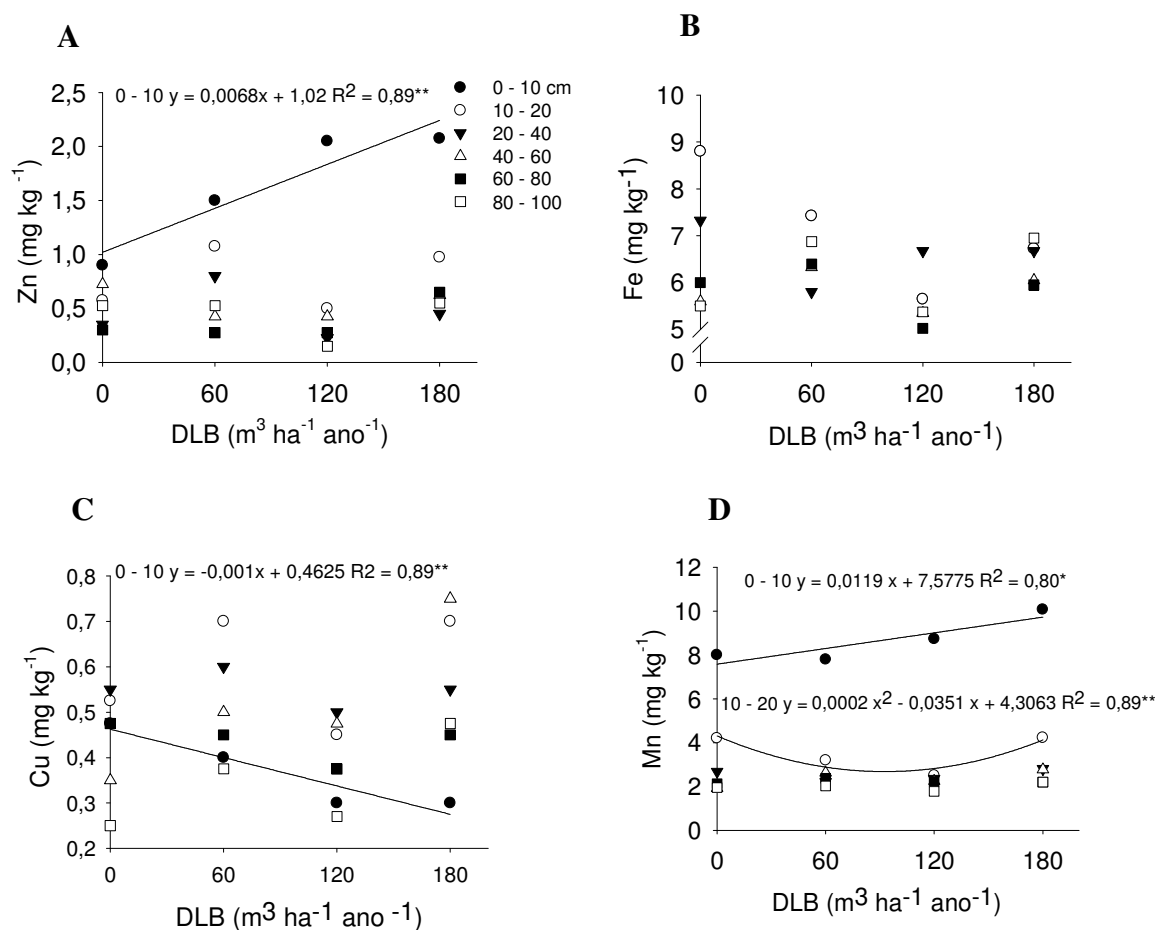


Figura 4. Teores disponíveis de Zn (A), Fe (B), Cu (C) e Mn (D) em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos bovinos (DLB) em Castro - PR.

Produtividade de grãos e de biomassa aérea

A produtividade de grãos aumentou linearmente com o aumento da dose de DLB (Figura 5A). Este aumento foi da ordem de 9,5 kg de grãos de milho para cada m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB aplicado.

Diferente da produtividade de grãos o efeito da aplicação de DLB de quatro anos de aplicação de DLB não influenciou a produção de biomassa aérea do milho (Figura 5B) com produtividade média obtida de 10081 kg ha⁻¹. Logo, o aumento da produtividade de grãos sem

aumento na matéria seca proporcionou um aumento no índice de colheita, que ficou em 0,51, 0,54, 0,53 e 0,57 para as doses 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. O índice de colheita é a relação da produção de grãos em relação à massa aérea total, sendo desejáveis índices de colheita maiores.

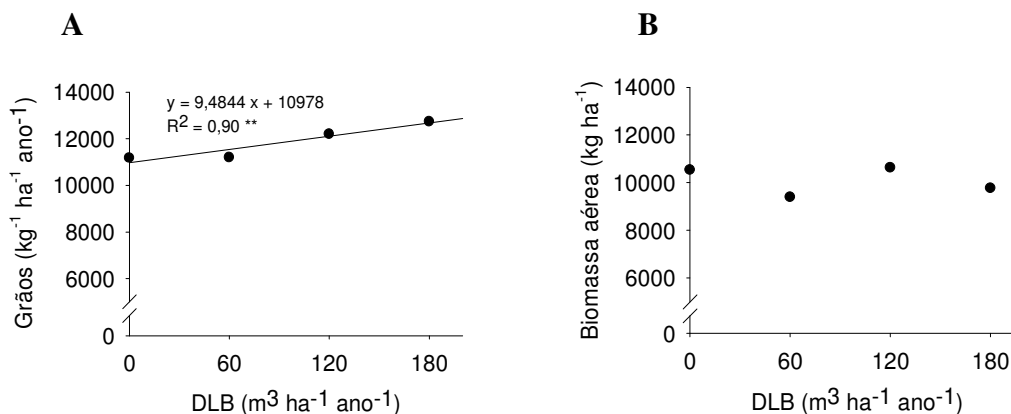


Figura 5. Produtividade de grãos (A) e de biomassa aérea (B) de milho cultivado em um Latossolo Bruno Distrófico típico em função de doses de dejetos líquidos de bovinos (DLB) - Castro – PR.

Concentração de nutrientes nos grãos e na biomassa aérea do milho

Não houve influência da aplicação de DLB na concentração de nutrientes avaliados nos grãos de milho. As evidências são de que a remobilização de nutrientes do colmo e folhas para os grãos manteve-se estável, independente da quantidade disponibilizada para as plantas através do adubo mineral e orgânico. Os teores médios foram 13,7 g kg⁻¹ para N, 1,6 g kg⁻¹ para P, 2,7 g kg⁻¹ para K, 0,1 g kg⁻¹ para Ca, 0,7 g kg⁻¹ para Mg, 443 g kg⁻¹ para C, 2,1 mg kg⁻¹ para Cu, 2 mg kg⁻¹ para Mn, 11,1 mg kg⁻¹ para Fe e 11,8 mg kg⁻¹ para Zn.

Os teores de nutrientes na biomassa aérea se mostraram muito mais variáveis que nos grãos, o que era esperado. Observaram-se incrementos de N e K e decréscimos de Ca, Mg e Mn com o aumento da dose de DLB (Quadro 3).

O aumento do teor de N não foi acompanhado pelo aumento do teor de C (média de 430,2 g kg⁻¹) na biomassa aérea, proporcionando a diminuição da relação C/N da planta de milho com o aumento da dose de DLB. Tal fato pode ter reflexos sobre o processo de decomposição da palha deixada sobre o solo no SPD após a colheita, uma vez que menores relações C/N podem contribuir para aumentar a velocidade de decomposição.

Quadro 3. Teor de macronutrientes e micronutrientes na biomassa aérea menos grãos, de milho no ano agrícola 2009/2010 em função de doses de dejetos líquidos de bovinos (DLB) em Castro – PR.

Doses de esterco m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	C	C/N	C/P	Cu	Mn	Fe	Zn
	g kg ⁻¹								mg kg ⁻¹			
0	7,54	0,54	10,59	0,89	1,77	434,45	58,02	799	6,32	13,50	45,70	3,45
60	6,75	0,38	13,72	0,71	1,58	428,18	63,61	1136	3,76	9,96	35,67	3,87
120	7,68	0,53	14,68	0,62	1,33	429,58	56,49	814	4,56	9,38	32,60	3,81
180	9,17	0,56	15,78	0,62	1,27	428,80	47,30	766	3,24	9,70	38,45	3,37
Regressão	L**	ns	L*	L**	L**	ns	L**	Q*	ns	L**	ns	ns

⁽¹⁾ L** = Regressão linear a 1% de probabilidade; L* = Regressão linear a 5% de probabilidade; ns = não significativa.

Aumento linear do teor de K ocorreu com o aumento da dose de DLB, indicando ocorrência do consumo de luxo pela planta já que o teor disponível no solo estava em níveis elevados e foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de K₂O na forma mineral. Este aumento de K ocorreu com o decréscimo linear nos teores de Ca e Mg na biomassa do milho com o aumento das doses de DLB.

A diminuição do teor de Mn na biomassa aérea do milho com o aumento da dose de DLB (Quadro 3) não era esperada em função do aumento do teor disponível deste nutriente no solo (Figura 4D). Apesar da aplicação de DLB ter diminuído o teor disponível de Cu no solo determinado pelo extrator Mehlich (Figura 4C), houve alteração deste nutriente nos grãos e não alteração na biomassa, indicando variação quanto a percepção da planta e do extrator. Diferente do Cu, para Zn houve efeito contrário no teor na planta, isto é, houve acréscimo nos teores do solo (Figura 4A) e não alteração no teor da biomassa aérea da planta (Quadro 3).

DISCUSSÃO

Componentes da fertilidade do solo

Os resultados do uso de esterco sobre o teor de C no solo é variável em função da dose aplicada (Silva et al., 2008; Silva et al., 2010), duração de uso (Lithourgidis et al., 2007), teor de matéria seca do dejetos (Ceretta et al., 2005; Comissão de química e fertilidade do solo, 2004), tipo de solo e efeito sobre produção de biomassa das plantas (Dordas et al., 2008).

O aumento do teor de carbono na profundidade de 0–10 cm (Figura 2A) discorda do observado por Sherer et al. (2010), que não encontraram aumento de MOS em áreas com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos, atribuindo esta ausência de efeito à baixa concentração de matéria seca (3 g kg⁻¹) do esterco aliada ao aumento da atividade microbiana

proporcionada pela aplicação de esterco. Uma das possíveis causas da discordância dos resultados destes autores quanto ao aumento de C, se deve ao tempo de adoção do SPD, que favorece a concentração dos efeitos do dejetos na superfície do solo.

Aumentos no teor de C no solo com a aplicação de esterco, normalmente são observados em experimentos de longo prazo, como no trabalho de Andreola et al. (2000), que obtiveram aumentos de C até 20 cm de profundidade, quando da aplicação de esterco de aves por 10 anos e atribuíram este aumento também à contribuição das raízes da cultura do milho.

Em plantio direto, Mellek et al. (2010) constataram que aproximadamente 60% do C encontrado nos primeiros 20 cm superficiais do solo era derivado dos restos culturais, mas o aumento do C foi devido à aplicação de DLB, responsável por uma adição de 1,51 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ com a aplicação anual de cada 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante dois anos consecutivos.

O uso de dejetos como fonte de N na agricultura é amplamente discutido para DLB (Whalen et al., 2000) e dejetos líquidos de suínos (Aita et al., 2008). Bem como, com a adição de resíduos de curtiúme como apresentado por Ferreira et al. (2003).

Conforme relatam Amado et al. (2002) a adição de DLB sobre resíduos de gramíneas de aveia preta em decomposição no SPD pode reduzir a contaminação do lençol freático com o nitrato. Porém, esta observação não foi encontrada neste experimento, uma vez que foi avaliada uma única vez.

Dessa forma, são necessários avaliações que considerem a variação temporal do nitrato (Di & Cameron, 2002) em período chuvoso (Mori et al., 2009) para uma determinação do potencial de lixiviação do nitrato.

Neste experimento, na safra agrícola de 2007/2008, Timofiecsyk (2009) encontrou perdas de nitrato por escoamento superficial, mesmo após 3 meses de aplicação do DLB, indicando acúmulo na camada superficial do solo em SPD, sob baixa precipitação pluviométrica (83mm) em função do declive moderadamente ondulado.

Além do uso do DLB como fonte de N e MO, este tem efeito na correção da acidez do solo (Whalen et al., 2000; Andreola et al., 2000). O aumento do pH e redução da acidez potencial do solo (FIGURA 2D e E) é devido a presença de carbonatos e bicarbonatos (CO₃) e (HCO₃), que são aditivos da alimentação animal para a neutralização de ácidos no suco gástrico, e outros compostos como o hidróxido de Ca [Ca(OH)₂] (Whalen et al., 2000) utilizados para aumentar a digestibilidade das silagens pelo animal (Ruiz et al., 2008) e os

ácidos orgânicos dos grupos carboxil e hidroxil fenólicos. Estes compostos tem importante papel no tamponamento da acidez e na variação do pH de solos ácidos (Whalen et al., 2000).

Acompanhando a variação do pH e (H + Al), acréscimos de Ca ficaram restritos aos 10 cm superficiais do solo, indicando necessidade de mais tempo para movimentação do DLB e do Ca em profundidade na condição estudada. Concentração do efeito do uso nas primeiras camadas com uso de DLB foi também constatado por outros autores (Silva et al., 2008; Barcelos 2005; Whalen et al., 2000), assim como para esterco de aves (Andreola et al., 2000) e esterco sólido de gado em confinamento (Chang et al., 1991). No SPD adotado no experimento, não há o revolvimento do solo e a manutenção da palhada colabora para que elementos pouco móveis como o Ca se concentrem na superfície (Falleiro et al., 2003).

Para o Mg, houve o aumento do teor até a camada de 10-20 cm de profundidade (FIGURA 2), além da sua mobilidade este aumento é consequência da maior quantidade deste nutriente aplicada com o aumento da dose de DLB (Silva et al., 2008), dado sua menor força de adsorção em relação ao Ca (Meurer et al., 2006).

O efeito da adubação com esterco de animais em aumentar o teor de K no solo em relação a adubação mineral é enfatizado por outros autores (Bhattacharyya et al., 2007; Bakayoko et al., 2009) assim como a maior lixiviação do elemento para camadas mais profundas do solo (Sherer et al., 2010). O potássio disponibilizado da palha, assim como aquele adicionado via adubação, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente aplicado e da textura do solo (Rosolem et al., 2006).

Além da aplicação de K do DLB e do adubo mineral, a região de Castro apresenta considerável precipitação anual, com aproximadamente (1651 mm) por período de 10 meses (FABC, 2010) podendo favorecer a sua lixiviação. Entretanto, Werle et al. (2010) atribui a intensa lixiviação de K encontrada até a camada de 20 cm aos seis anos de histórico de adubação com este nutriente e a rápida passagem do K não trocável para o K trocável nas formas lixiviáveis, dependendo mais da CTC do solo do que da textura (Werle et al., 2010). Contudo, solos mais desenvolvidos como os Latossolos, também podem apresentar maior lixiviação de K que os menos desenvolvidos como os Cambissolos e Neossolos (Sherer et al., 2010).

O Latossolo Bruno ácrico utilizado neste experimento, por apresentar CTA no horizonte B, favorece a movimentação de cátions no solo, o que justifica os aumentos observados de K até 100 cm de profundidade com aplicação de DLB (Figura 3A).

A movimentação do K em profundidade no perfil do solo esta condicionada ao balanço entre dose aplicada e exportação pelas culturas. Elevadas doses podem aumentar o K no solo em profundidade para a produção de grãos, mas não garante o mesmo efeito sob produção de silagem (Silva et al., 2010), pois, neste caso, a biomassa aérea onde está concentrado aproximadamente 74% do potássio da planta (Pauletti, 2004) é exportada junto com os grãos.

Outros autores também observaram incremento de P em função do uso de esterco tanto de bovinos (Silva et al., 2010; Singh et al., 2007), quanto de suínos (Sherer et al., 2010; Queiroz et al., 2004). Incremento de P disponível na camada de 0-10 cm em função da aplicação de DLB (Figura 3B) também foi observado por Ceretta et al. (2010). Além da dose aplicada, outro fato que pode ter contribuído para este aumento do teor de P disponível é o aumento no teor de MO nesta camada, uma vez que a mesma tem capacidade de diminuir a adsorção deste nutriente (Gatiboni et al., 2008; Singh et al., 2007).

O aumento dos teores de P no solo quanto ao uso de DLB é um risco quando ocorre em áreas que apresentam fatores de transporte de P (Shigaki et al., 2006) que necessitam de um manejo adequado devido aos riscos de perda de P por erosão via escoamento superficial, podendo alcançar os recursos hídricos, contaminando-os (Sharpley et al., 2001; Mori et al., 2009). Entretanto, trabalhos desenvolvidos em solo arenoso, oposto do solo estudado, afirmaram que a aplicação de DLB pode promover uma melhor estruturação do solo pelo incremento em MO (Mellek et al., 2010) diminuindo as perdas de P por escoamento superficial (Silveira, 2009).

Para os teores de micronutrientes no solo a aplicação do esterco apresenta efeito variável. Os resultados obtidos para Wong et al. (1999), estão de acordo com os resultados obtidos no atual trabalho (Figura 4 A,B e D), para Fe, Mn e Zn, contudo, em desacordo com os resultados de Cu, pois observaram que a aplicação de esterco não influenciou o teor de Fe extraído por DTPA e aumentou os de Zn, Mn e Cu. Leonel & Damatto Junior (2008) encontraram aumento dos teores de Cu, Mn e Fe e diminuição linear de Zn com a aplicação de doses de esterco sólido de suínos, atribuindo este efeito às baixas concentrações de micronutrientes no esterco e ainda ao aumento de produtividade, o que contribuiu para o aumento da exportação deste micronutriente. O fato de que os teores de Zn e Cu no esterco variam com a alimentação animal e com o tratamento nas esterqueiras pode explicar parte destas variações observadas (Motta et al., 2007). Outro fator é que esterco sólidos apresentam maior relação C/N e menor disponibilidade de nutrientes em relação aos dejetos

líquidos (Comissão de fertilidade do solo, 2004), justificando a diminuição do teor de Zn no solo no trabalho de Leonel & Damatto Júnior (2008).

O decréscimo de Cu disponível no solo (Figura 4C) pode estar associado ao aumento do C orgânico e do pH (Figura 2D). Este nutriente apresenta elevada força de adsorção pela matéria orgânica, que é intensificada pela elevação do pH (Meurer et al., 2006; Motta et al., 2007). Queiroz et al. (2004) também atribuíram aos fatores acima a diminuição dos teores de Cu com o aumento das doses de esterco.

Maiores valores de Mn na camada superficial sob SPD (Figura 4D) indicam que o elemento é muito sensível a presença de MO, que ao contrário do Cu, promove o aumento da sua disponibilidade (Meurer et al., 2006). Assim, é provável que o fornecimento de Mn do DLB contribuiu com o aumento deste micronutriente na camada superficial até 20 cm do solo, (Figura 4D) sendo responsável pela elevação da disponibilidade de Mn.

O aumento da concentração de Zn na camada superficial do solo proporcionado pela aplicação de DLB era esperado, visto que embora tenha adsorção específica (Meurer et al., 2006) a força envolvendo a adsorção é menor que a do Cu e a quantidade adicionada pelas aplicações sucessivas de DLB durante os quatro anos anteriores a coleta do solo, provavelmente supera a ação de adsorção.

De acordo com Mullins et al. (1982), os teores de Cu são maiores em solos arenosos que não possuem quantidades expressivas de Fe e Mn. O caráter ácido do Latossolo Bruno e a expressiva quantidade de MOS na camada superficial dificulta a acumulação de Cu, mesmo sob as maiores doses de DLB. No entanto, acúmulo de metais pesados como Cu e Zn, na camada superficial do solo, também foram encontrados em solos muito argilosos devido a aplicações sucessivas de DLB (Bertol et al., 2010; Chang et al., 1991).

Produtividade de grãos e de biomassa aérea

A produtividade de grãos obtida foi superior a média da região, que foi para a mesma safra de 9000 kg ha⁻¹ (SEAB, 2010). Os dados obtidos sugerem que o potencial produtivo da cultura do milho para a região é alto e o uso de DLB pode contribuir para a elevação deste potencial.

O aumento linear da produtividade de grãos da cultura do milho em função da aplicação de esterco (Figura 5A) concorda com o observado por outros autores (Beauchamp, 1983; Lithourgidis et al., 2007). Contudo, diferente destes trabalhos, este estudo foi conduzido com aplicação de doses de DLB em combinação com adubação mineral que supre

a necessidade da cultura. Na mesma região e tipo de solo do trabalho atual, Barcelos (2005) e Peixoto (2005) também obtiveram incrementos em produtividade para a cultura do milho grãos e silagem, sob o efeito da combinação do DLB com adubação mineral. Entretanto, a adubação mineral aplicada não atendeu à necessidade das culturas em todos os tratamentos como neste experimento, mas sim, doses de 0, 50 e 100% para o atendimento das exigências da cultura.

O resultado obtido para a safra de milho 2009/10 é consequência da aplicação de DLB na safra e do residual de quatro anos de aplicação. A resposta da cultura do milho ao uso de esterco parece estar ligada ao histórico de adubação da área. Em áreas que receberam freqüentes adubações, geralmente, não se observa efeito da aplicação de esterco sobre a produtividade de MS das culturas, enquanto são comuns efeitos em áreas nunca adubadas. Isto se comprova com os ganhos em produção de MS, a partir de milho partir do segundo e terceiro ano de aplicação acumulada de esterco para Dordas et al. (2008).

Considerando que o índice de colheita, que é a relação entre a quantidade de grãos pela biomassa total produzida, aumentou de 0,51 para 0,57, percebe-se que a maior oferta de nutrientes teve mais efeito sobre a produção de grãos que sobre a biomassa aérea. Isto concorda com Ferreira (2009), segundo os quais híbridos de maior potencial genético tendem a reduzir os gastos energéticos em produção de massa, ampliando o aproveitamento dos nutrientes na conversão de grãos.

Teor de nutrientes em grãos

Não houve influência da aplicação de DLB na concentração de nutrientes avaliados nos grãos de milho. As evidências são de que a remobilização de nutrientes do colmo e folhas para os grãos manteve-se estável (Hartmann et al., 1997; Dordas et al., 2008, Feil et al., 2005) mesmo com a variação da produtividade e do suprimento de nutrientes pela adubação ou pelo solo.

A aplicação de diferentes doses de DLB combinada com adubação mineral manteve as concentrações de N nos grãos na faixa observada por Heckman et al. (2003) em diferentes variedades de milho, de mínimo de 10,2 e máximo de 15,0 g kg⁻¹, com um teor médio de 13 g kg⁻¹.

Com relação aos teores de P e de K, os valores obtidos nos grãos estão entre 1,6 g kg⁻¹ e 2,7 g kg⁻¹, respectivamente, e estão abaixo do obtido por Heckman et al. (2003), Comissão de fertilidade do solo (2004), Eghball et al. (2003), Feil et al. (2005) e Ferreira et al. (2010).

Os autores indicam valores entre 2,1 e 5,4 para g kg^{-1} para P e 2,9 e 6,2 g kg^{-1} para K. Baixos teores de P e K encontrados nos grãos não eram esperados uma vez que o solo utilizado e o clima foram favoráveis ao crescimento e absorção de nutrientes.

A estabilidade do teor de N nos grãos de milho independente das doses de DLB aplicadas, devido à sua remobilização de outras partes da planta para os grãos e da aplicação de 150 kg ha^{-1} de N através da adubação mineral realizada no sulco de semeadura e em cobertura. Esta adubação possivelmente foi suficiente para atender a demanda para a formação dos grãos. Dordas et al. (2008) encontraram no efeito residual de três anos de experimento o aumento no conteúdo de N nos grãos pela aplicação de esterco, porém, em relação ao tratamento sem aplicação deste nutriente.

A concentração de P e N pode diminuir por efeito de diluição, devido ao aumento do rendimento dos grãos (Feil et al., 2005). Mas, tal fato não foi observado no presente trabalho. Os teores baixos de P e K podem estar relacionados, além do clima, ao híbrido de milho utilizado, conforme sugere Ferreira (2009).

As concentrações médias de Ca foram de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$, condizentes com o observado por Hossain (2006), Feil et al. (2005) e Heckman et al. (2003), que obtiveram valores entre 0,076 e 0,080, 0,074 e 0,146 e 0,13 e 0,45 g kg^{-1} , respectivamente, em diferentes condições de clima e solo.

O teor médio de Mg de $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ é inferior ao observado por Heckman et al. (2003) que obtiveram valores entre 0,88 a $2,18 \text{ g kg}^{-1}$ e semelhante aos obtidos por Vyn & Tollenaar (1998) 0,7 a $0,9 \text{ g kg}^{-1}$. Ferreira et al. (2010), encontraram valores intermediários aos acima, variando entre 0,92 e $1,12 \text{ g kg}^{-1}$ para híbridos simples em condições de elevada pluviosidade. Do mesmo modo que P e K, o baixo teor de Mg não era esperado em função da elevado teor disponível do solo.

Os teores médios de $11,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn estão abaixo dos valores mínimos observados por Heckman et al. (2003). Enquanto, os teores de $11,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe, 2 mg kg^{-1} de Mn e $2,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu estão próximos ou acima dos valores de referidos de 15; 9; 1 e 1 mg kg^{-1} , respectivamente.

Variação nos teores de macronutrientes e micronutrientes em grãos de milho foram encontrados em trabalhos como os de Heckman et al. (2003); Ferreira et al. (2009); Vyn & Tollenaar et al. (1998) comparando diferentes híbridos de milho, inclusive Wong et al. (1999) com o aumento de doses de esterco aplicadas. Contudo, no presente estudo, foi avaliado apenas um híbrido de milho. Assim, não é possível encontrar variação no conteúdo de

nutrientes nos grãos quando se trata do mesmo híbrido (Heckman et al., 2003) ainda mais em solos com suprimento adequado de nutrientes.

Corroborando com estes resultados Martins et al. (2003) trabalhando com apenas um híbrido sob aplicação de calcário e doses de lodo de esgoto não encontraram alterações nos teores de Cu, Fe, Zn e Mn nos grãos de milho. Do mesmo modo, Ferreira et al. (2003) encontrou ausência de efeito no teor de nutrientes no solo, parte aérea e nos grãos sob altas concentrações de Zn no resíduo carbonífero e lodo de curtume.

Nutrientes na biomassa aérea

O maior teor de N na biomassa aérea coincide com o aumento da produtividade de grãos (Figura 5), o que sugere ter sido um dos fatores que contribuíram para este aumento, (Lithourgidis et al., 2007; Dordas et al., 2008 e Ceretta et al., 2005).

Mesmo com aplicação de 150 kg de N ha⁻¹ como adubo mineral, o maior fornecimento deste nutriente pelo esterco aumentou o teor de N na planta (Quadro 3).

Aumentos dos teores de K podem ser atribuídos ao aumento do conteúdo de nutrientes e à melhoria nas condições físicas do solo, conforme observado por Wong et al. (1999). Incrementos no conteúdo de K e matéria seca das plantas também foram observados por Lithourgidis et al. (2007), em experimento sob efeito residual de aplicação de esterco.

A maior quantidade de K em relação aos outros nutrientes na biomassa aérea do milho é atribuído à contribuição de 24,32% a mais de colmo que folhas na composição da parte aérea dos híbridos simples de milho (Ferreira, 2009). Como a maior concentração de K é encontrada nos colmos (Karlen et al., 1987), é esperada maior concentração de K na biomassa aérea que nos grãos.

Os resultados obtidos indicam que a maior disponibilidade de N e K na biomassa aérea sejam os responsáveis pela elevação da produtividade (Quadro 3).

A diminuição nos teores de Ca e Mg pode estar relacionada à competição destes nutrientes com o K, pois trata-se de elementos antagônicos quanto à translocação nos tecidos e competem pelo mesmo sítio de absorção (Meurer et al., 2006). Efeito inverso do K sobre Ca e Mg é bastante conhecido e vem sendo reportado para o milho (Andreotti et al., 2000).

Contrariando o que foi observado por Wong et al. (1999) que trabalhou com doses de composto de esterco e Lithourgidis et al. (2007) que comparou a aplicação de 80 t ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos líquidos de bovinos leiteiros com a adubação mineral e encontraram aumento da concentração de P na matéria seca das plantas, não foi observada alteração no teor de P na

biomassa aérea do milho (Quadro 3). Provavelmente, a aplicação de 93 kg ha⁻¹ de P na semeadura no tratamento que não recebeu DLB, em solo com médio teor de P, supriu a necessidade da cultura ocasionando a ausência de resposta na concentração das plantas com as doses de DLB.

A ausência de efeito no teor de Cu na parte aérea das plantas (Quadro 3) de milho em oposição à diminuição do seu teor no solo com o aumento da dose de DLB (Figura 4) se deve à menor translocação deste em oposição à absorção (Martins et al., 2003). Ausência de resposta para Zn e Cu na parte aérea foram encontrados por Ferreira et al. (2003) trabalhando com altas concentrações desses micronutrientes do lodo de curtume e resíduo carbonífero.

O Mn tem se mostrado uns dos micronutrientes mais sensíveis a variação do pH e de MO (Moreira et al., 2006). O aumento do pH do solo (Figura 2D) pode justificar o menor teor de Mn na planta com o uso de DLB. Fato também observado por Martins et al. (2003) na biomassa aérea (folhas e colmo) do milho. No entanto, a aplicação de DLB também aumentou o teor de carbono orgânico do solo (Figura 2A) que tem efeito positivo na disponibilidade deste nutriente para as plantas. Esta inconsistência encontrada entre o teor no solo e na planta pode ser devido à dificuldade da metodologia de análise do Mn disponível no solo, conforme discutido por Moreira et al. (2006). Este autor indica que o aumento do teor de Mn ao solo sob SPD encontra-se indisponível às plantas, devido ao fornecimento de grupos carboxílicos, hidroxilas da MOS do solo e esterco fornecido, formando uma ligação com complexos de esfera interna com a MOS.

CONCLUSÕES

Aplicações sucessivas por quatro anos de DLB combinada com a adubação mineral promoveu alteração das propriedades químicas do solo cultivado sob plantio direto, especialmente na camada superficial de 0-10 cm.

Houve aumento de C e N na camada de 0-10 cm do solo, em função das doses de DLB aplicadas em superfície no SPD.

O DLB proporcionou efeito sobre a acidez do solo, após quatro aplicações, promovendo o aumento de pH e diminuição da acidez potencial em solo com alto teor de MOS.

A aplicação de DLB proporcionou aumento nos teores de N, K e diminuição de Ca, Mg e Mn na biomassa aérea da planta de milho, sem no entanto, alterar os teores dos nutrientes nos grãos.

Os resultados indicam que a maior disponibilidade de N e K, proporcionada pela aplicação de DLB seja o responsável pela elevação da produtividade de grãos de milho, mesmo sem alterar a produção da biomassa aérea.

O K foi o único nutriente com potencial de perda por percolação, mesmo em solo argiloso e sob plantio direto.

LITERATURA CITADA

AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:2101-2111, 2008.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistemas de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S. & OLSZEWSKI, N. Propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciada pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. R. Bras.de Ci..Solo, 24:609-620, 2000.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E.C.A.de; CRUSCIOL, C.A.C.; RODRIGUES, J.D. & BULL, L.T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. Pesq. Agrop. Bras., 35:2437-2446, 2000,

ARRUDA, C.A.O; ALVES, M.V.; MAFRA, A.L.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J.A. & SANTOS, J.C.P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. Ciênc. Agrotec., 34:804-809, 2010.

ASSISTAT 7.5 beta 2010. Disponível em: < <http://www.assistat.com/index.html> >. Acesso em 09 dez. 2010.

BAKAYOKO, S.; SORO, D.; NINDJIN, C.; DAO, D.; TSCHANNEN, A.; GIRARDIN, O. & ASSA, A. Effects of cattle and poultry manures on organic matter content and adsorption complex of a sandy soil under cassava cultivation (*Manihot esculenta* Crantz.) Afric.J. Environ.Sci.Tec. 3:190-197, 2009.

BARCELOS, M. Adubação orgânica e mineral na produção de culturas em rotação sob plantio direto e nas propriedades químicas do solo da região dos campos gerais do Paraná – Curitiba. Dissertação de mestrado. UFPR, Curitiba, 2005.

BEAUCHAMP, E.G. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. J. Soil Sci.. 63:377-386, 1983.

BERTOL, O.J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, J.; RIZZI, N.E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 34: 1841 – 1850, 2010.

BHATTACHARYYA, P.; CHAKRABARTI, K.; CHAKRABORTY, A.; NAYAK, D.C.; TRIPATHY, S. & POWELL, M.A. Municipal waste compost as an alternative to cattle manure for supplying potassium to lowland rice. *Chemosphere*, 66:1789–1793, 2007.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; PAVINATO, P.S.; TRENTIN, E.E. & GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Ci. Rural*, 35:1287-1295, 2005.

CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L.C., LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; CONTI, L.de; TRENTIN, G. & MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45:593-602, 2010.

CHANG, C. SOMMERFELDT, T. G & ENTZ, T. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20: 475 – 480, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004.

DI, H. J. & CAMERON, K.C. Nitrate leaching and pasture production from different nitrogen sources on a shallow stoney soil under flood-irrigated dairy pasture. *Australian J. Soil Res.*, 40:317-334, 2002.

DORDAS, C.A; LITHOURGIDIS, A.S; MATSI, T & BARBAYIANNIS, N. Application of liquid manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 80:283-296, 2008.

EGHBALL, B.; SHANHAN, J.F.; VARVEL, G.E. & GILLEY, J.E. Reduction of high soil test phosphorus by corn and soybean varieties. *Agron. J.*, 95:1233-1239, 2003.

EMBRAPA - Fundação ABC. Mapa do levantamento semi-detalhado de solos: Município de Castro. Elaborado por: FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; BOGNOLA, I. A.; POTER, R. O., 2001.

ERNANI, P.R. & GIANELLO, C. Diminuição do Alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. *R.Bras.Ci. Solo*, 7:161-165, 1983.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A. & FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1097-1104, 2003.

FANCELLI, A. L. Milho: nutrição e adubação. 2o Ed. Piracicaba: ESAL/USP/LPV, 2008, 204 p.

FEIL, B.; MOSER, S.B.; JAMPATONG, S. & STAMP, P. Mineral composition of the grains of tropical corn varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Sci.* 45:516-523, 2005.

FERREIRA, C.F. Diagnose nutricional de cultivares de milho (*zea mays* l.) de diferentes níveis tecnológicos. Dissertação de mestrado. UFPR, Curitiba, 2009.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. & BISSANI, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtiúme e carbonífero. R. Bras. Ci. Solo, 27:755-763, 2003.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. R. Bras. Ci. Solo, 32: 1753 – 1782, 2008.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; JR, DAVIES, F.T. & GENEVE, R.L. Plant Propagation: Principles and practices. USA, 6 th ed, 1997.

HECKMAN, J.R.; SIMS, J.T.; BEEGLE, D.B.; COALE, F.J.; HERBERT, S.J.; BRUULSEMA, T.W. & BAMKA, W.J. Nutrient removal by corn grain harvest. Agron.J, 95:587-591, 2003.

HEINZMANN, F.X.; MIYAZAWA, M.; e PAVAN, M.A.; Determinação de nitrato em extratos de solos ácidos por espectrofotometria de absorção ultravioleta. R. Bras. Ci. Solo, 8: 159 -163, 1984.

HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solo e plantas. Curitiba, UFPR, 1976, 225p.

HOSSAIN, M. F. Nutrients removed in harvested portion of crop by continuous corn receiving organic and inorganic fertilizers. J. Plant Sci, 1:264-272, 2006.

IBGE, Censo Agropecuário 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009>>. Acessado em 5 de janeiro de 2011.

KARLEN, D.L.; SADLER, E.J.; AND CAMP, C.R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk loamy sand. Agron. J. 79: 649-656, 1987.

KINGERY, W.L.; WOOD, C.W.; DELANEY, D.P.; WILLIAMS, J.C. & MULLINS, G.L. Impact of long term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. J. Environ. Qual. 23:139-147, 1994.

KORNEGAY, E.T.; HEDGES, J.D.; MARTENS, D.C.; and KRAMER, C.Y. Effects on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. Plant Soil, 45, 151 – 162, 1976.

LEONEL, S. & DAMATTO JUNIOR, E.R. Efeitos do esterco de curral na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da figueira. Rev. Bras. Frutic., 30:534-539,2008.

LITHOURGIDIS, A.S.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N. & DORDAS, C.A. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition and soil properties. Agron.J, 99:1041-1047, 2007.

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A. & CATARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Zn e Mn pelo milho em solo adubado, com lodo de esgoto com e sem calcário. R. Bras. Ci. Solo, 27:563-574, 2003.

MARTINS, A.P. & REISSMAN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico – analíticos. Sci. Agraria, 8:1-17, 2007.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L. DA.; FAVARETTO, N, PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M.; SOUZA, M, J.L. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. Soil Till. Re. 2010.

MEURER, E.J.; RHENHEIMER, D. & BISSANI, C.A. Fenômenos de Sorção em Solos. In: Fundamentos da Química do Solo, Porto Alegre, 3º Ed., 2006. p.117-162.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, C.; NETO, L.M. & PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. R. Bras. Ci. Solo, 30:121-136, 2006.

MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. & SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. Rev. Bras. Ci. Solo 33:189–198, 2009.

MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; REISMANN, C.B. & DIONISIO, J.A. Micronutrientes na rocha, solo e na planta. 1º Edição, Curitiba: p.246, 2007.

MTAMBANENGWE, F. & MAPFUMO, P. Effects of organic quality on soil profile N dynamics and maize yields on Sandy soils in Zimbabwe. Plant Soil, 281:173-191, 2006.

MULLINS, G.L.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P.; KORNEGAY, E.T.; and HALLOCK, D.L. Copper availability, form, and mobility in soils from three annual copper – enriched hog manure applications. J. Environ. Qual., vol. 11, n. 2, p. 316- 320, 1982.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e interpretação. 2 ed. Castro, PR, 2004.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B. M & SANTOS, I.R. dos. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. Sci. Agra, Curitiba, 9:199-205, 2008.

PAVAN, M. A; BLOCH, M. F; ZEMPULSKI, H. C; MIYAZAWA, M; ZOCOLER, D. C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 1992, 40 p. (Circular 76).

QUEIROZ, F.M. de; MATOS, A.T. de; PEREIRA, O.G & OLIVEIRA, R.A. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. Ci. Rural, 34:1487-1492, 2004.

RAIJ, B. Van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim técnico, n.81, 1983. p.1-31,

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.dos; FOLONI, J.S.S. & CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1033-1040, 2006.

RUIZ, U. dos S.; THOMAZ, M. C.; HANNAS, M.I.; FRAGA, A.L.; WATANABE, P.H.; SILVA, S. Z da. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. *R. Bras. Zootec.* v.37, n 3, 458-468, 2008.

SEAB, Secretaria de agricultura e abastecimento. 2010

SALLA, D.A.; FURLANETO, BADIZ, F.de P.; CABELLO, C.; KANTHACK, R.; DIAS, A. Estudos energético da produção de biocombustível a partir do milho. *Ci. Rural*, 40:2017-2022, 2010.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant Soil*, 237:287 -307, 2001.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1375-1383, 2010.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal – based agricultural, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. *Sci. Agric, Piracicaba*, v.63, n2, p. 194 -209, 2006.

SILVA, J.C.P da. Esterco líquido de gado de leite e adubação mineral influenciando a produção de silagem e propriedades químicas do solo na região dos Campos gerais do Paraná. Dissertação de mestrado em Ciência do solo, UFPR, 2005.

SILVA, J.C.P. da; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A.S.de, VELOSO, C.M. & SILVA, L.F.C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um LATOSSOLO BRUNO. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2538-2572, 2008.

SILVA, J.C.P.M.da; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C.M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A.S.de & SILVA, L.F.C.e. Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 34, 2010.

SILVEIRA, F.M.; Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo franco –argilo – arenoso sob plantio direto e chuva natural. Dissertação de mestrado em Ciência do solo, UFPR, 2009.

SINGH, M.; REDDY, K.S; SINGH V.P. & RUPA, T.R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) - wheat (*Triticum estivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. *Biores. Technology*, 98:1474-1481, 2007.

VYN, T.J.; TOLLENAAR, M. Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. *Field Crops Res*, 59:135-140, 1998.

TIMOFIECSYK, A. Perdas de água, solo e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em latossolo bruno. Dissertação de mestrado em ciência do solo, UFPR– PR, 72p. 2009.

WERLE, R.; GARCIA, R.A. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e disponibilidade do nutriente no solo. R. Bras. Ci. Solo, 32:2297-2305, 2008.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W. & CAREFFOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Amb. J., 64:962-966, 2000.

WONG, J.W.C.; MA, K.K.; FANG, K.M. & CHEUNG, F.C. Utilization of manure compost for organic farming in Hong Kong. Biores. Technology, 67:43-46, 1999.

CAPÍTULO 2. DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS NO PLANTIO DIRETO: EFEITO DE APLICAÇÕES SUCESSIVAS SOBRE A FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO DE TEXTURA MÉDIA NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL.

RESUMO

O conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície, onde os dejetos líquidos de bovinos (DLB), que apresentam nutrientes em desbalanço, são depositados no sistema de plantio direto (SPD), é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos, pela escassez de informações. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de três anos e meio consecutivos de DLB sobre componentes da fertilidade do solo em SPD. O estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho - Amarelo de textura franco- argilo-arenosa em Ponta Grossa - Paraná, cultivado sob SPD por mais de 13 anos. Os tratamentos utilizados foram doses de DLB de gado de leite confinado (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Parâmetros químicos do solo foram avaliados em amostras de solo das profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. A camada de solo 0-10 cm foi a mais influenciada pela aplicação de DLB com diminuição da acidez, aumento de C e na disponibilidade de N, Ca, Mg, P, K, Cu, Mn e Zn. Para a camada de 10-20 cm houve percolação de Mg e compostos alcalinizantes aumentando o pH nesta camada. O K disponível aumentou em todas as camadas avaliadas, sugerindo potencial de perda por lixiviação. Enquanto o P concentrou-se na camada superficial do solo. Em SPD a aplicação de DLB, por longo prazo em conjunto com a adubação mineral é viável, aumentando o teor de nutrientes e diminuindo a acidez do solo. Não houve diminuição de micronutrientes catiônicos com o aumento das doses de DLB e pH.

Palavras-Chave: Lixiviação, Adubo Orgânico

SUMMARY

Knowledge of the dynamics of nutrients in the soil from the surface, where dairy liquid manure (DLM) show that nutrient imbalance, is deposited in no-tillage (NT) is essential to make adjustments on the recommendation of fertilizer and lime, the lack of information. This study aimed to evaluate the influence of the DLB for four consecutive years on components of soil fertility. The study was conducted in a Oxissol texture clay loam sandy - Ponta Grossa - Paraná planted on tillage for 13 years. The treatments were doses of DLM confined dairy cattle (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ yr⁻¹). Soil chemical parameters were evaluated in soil samples from depths 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The 0-10 cm soil layer was most influenced by the application of DLB with decreased acidity and increased availability of C and N, Ca, Mg, P, K, Cu, Mn and Zn. O K available increased in all layers studied, suggesting potential loss by leaching. While the P concentrated - in the topsoil. In no-tillage application of DLM in conjunction with chemical fertilizers is feasible, increasing the nutrient content and reducing soil acidity. There was no decrease of cationic micronutrients with increasing doses of DLM and pH. The application long-term of DLM in NT promotes increase in nutrients to the soil.

Key-words: Leaching, Organic Fertilizer

INTRODUÇÃO

Nas regiões subtropicais, como é o caso do sul Brasil, cada tipo de solo possui propriedades específicas. Mas, seu conjunto apresenta atributos comuns de uma cobertura pedológica que reflete de maneira acentuada solos intemperizados e ácidos.

Por isso, a preservação dos resíduos agrícolas deixados pelas colheitas e a adição de esterco e/ou resíduos agro-industriais são práticas que visam elevar, manter ou conservar os teores de matéria orgânica dos solos (MOS) (Mellek et al., 2010; Morari et al., 2008). Aliado a isso, o alto preço dos fertilizantes minerais para a produção agrícola e a concentração de dejetos pela atividade pecuária confinada, são fatores que contribuem para a utilização dos dejetos nestas regiões.

No Paraná, o dejetos líquidos de bovino (DLB) pode ser encontrado, em grande volume, na região dos Campos Gerais do Paraná que se destaca nacionalmente pela terceira maior produção de leite em confinamento do Brasil (IBGE, 2009). Este DLB, ao ser aplicado em áreas agrícolas, pode aumentar a produtividade das culturas (Pauletti et al., 2008), especialmente pelo fornecimento de nutrientes e melhoria das características químicas e físicas do solo (Andreola et al., 2000).

Além da adição de N, P e K, os dejetos de bovinos são também fonte de compostos alcalinizantes (Whalen et al., 2000) e de micronutrientes como Cu e Zn, pois são frequentemente adicionados na dieta animal e, como a taxa de absorção é muito baixa, são excretados nas fezes e urina (Motta et al., 2007).

O conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície, onde os fertilizantes são depositados no sistema plantio direto (SPD), é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos e, mais especificamente, quando da utilização de dejetos animais, que nem sempre fornecem nutrientes em balanço com a necessidade das plantas cultivadas (Sherer et al., 2010).

As maiores dúvidas quanto à utilização de esterco na adubação estão ligadas ao efeito de longo prazo que venha a ocorrer na condição de não revolvimento do solo. Os nutrientes adicionados por adubação orgânica ou mineral no SPD, principalmente aqueles com menor mobilidade, como é o caso do P, Ca, Cu e Zn permanecem nas camadas mais superficiais do solo (Silva et al., 2008; Silva et al., 2010), criando um gradiente de concentração em relação às camadas inferiores. Nutrientes mais móveis, como o K e N, podem lixiviar para profundidades maiores do solo, podendo atingir o lençol freático (Mtambanengwe & Mapfumo et al., 2006; Rosolem et al., 2006).

Agronomicamente, todos estes são elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento de plantas, mas, apresentam grande potencial de poluição. A excessiva concentração na superfície do solo de elementos menos móveis como P (Sharpley et al., 2001; Shigaki et al., 2006), Cu e Zn (Bertol et al., 2010; Motta et al., 2007) pode causar danos ao ambiente, à saúde humana e animal, bem como à produção vegetal, caso atinjam os corpos d'água pela erosão.

De acordo com as melhores práticas de uso e manejo do solo, recomenda-se favorecer a infiltração da água em áreas agrícolas, o que permite ao solo desempenhar sua função de filtro (Larson & Pierce, 1994) e, conseqüentemente, reduzir o potencial de poluição das águas via escoamento superficial. Assim, de acordo com Silveira (2009) e Mellek et al., (2010), a aplicação de DLB promove a melhor estruturação do solo, favorecendo a infiltração de água e porosidade, diminuindo as perdas por escoamento superficial.

O melhor entendimento das modificações nos atributos químicos do solo, decorrentes da reciclagem de resíduos orgânicos e do uso de esterco na adubação, pode fornecer subsídios para produção em bases sustentáveis, sem comprometer o ambiente.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do DLB aplicado por longo prazo, combinado com adubação mineral, nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho–Amarelo de textura franco - argilo - arenosa em sistema de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi baseado em experimento de longo prazo instalado em setembro de 2005 na Estação Experimental de Ponta Grossa – PR, pertencente à Fundação ABC. As coordenadas geográficas do local são: 25° 13'S e 50° 01' W, com altitude de 890 metros.

Na Figura 6 são apresentados os dados médios mensais de precipitação pluviométrica e de temperatura ocorridos durante o desenvolvimento da cultura do milho entre setembro de 2008 e maio de 2009.

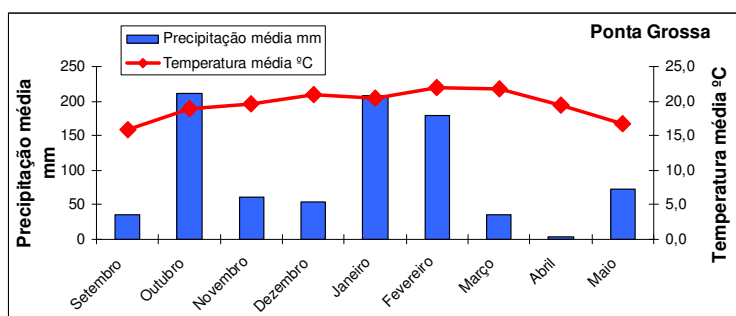


Figura 6. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra de 2008/2009 em Ponta Grossa – PR.

O solo local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA/FABC, 2001), textura franco-argilo-arenoso. O clima local é subtropical, classificado como “Cfb”, de acordo com o esquema de Köppen. As características da fertilidade inicial e textural do solo encontram-se na (Quadro 4).

Quadro 4. Análise química e textural do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em cinco profundidades, Ponta Grossa – Paraná.

Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C	Argila	Areia Total	Silte
		cmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
0 - 2,5	5,7	0,0	3,0	4,5	1,4	0,33	18,3	22,0	250	712	38
2,5 - 5	5,3	0,0	3,4	4,1	0,9	0,27	27,8	18,4	213	721	39
5 - 10	4,9	0,0	4,0	3,7	0,6	0,13	23,6	12,4	225	711	38
10 - 20	4,9	0,0	3,4	3,4	0,5	0,13	14,7	10,0	225	658	17

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de dejetos líquidos de bovinos leiteiros (DLB) (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) dispostos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. A dose anual de DLB foi parcelada em duas aplicações, sendo metade logo após a emergência da cultura de inverno e metade após a emergência da cultura de verão.

O DLB foi aplicado em superfície, sem incorporação, após a emergência das plantas, com o objetivo de evitar a restrição mecânica à emergência devido à formação de uma “crosta” criada pela desidratação do DLB depositado na superfície, especialmente nas doses mais altas. A composição do DLB aplicado em 2008, após a emergência do milho, foi de 9,7% de matéria seca de esterco apresentando 2,1 kg Mg⁻¹ de N, 0,6 kg Mg⁻¹ de P, 1,94 kg Mg⁻¹ de K, 1,8 kg Mg⁻¹ de Ca, 1,2 kg Mg⁻¹ de Mg, 0,5 g Mg⁻¹ de Fe, 0,7 g Mg⁻¹ de Zn e 0,2 g Mg⁻¹ de Cu e Mn para cada m³ de DLB aplicado. Os nutrientes no DLB foram determinados por digestão via úmida de acordo com o método proposto por Hildebrand (1976).

Para este trabalho, avaliou-se o milho da safra 2008/09, semeado no dia 17/09/2008, com uma adubação mineral igual em todos os tratamentos. Na semeadura do milho foi utilizado 300 kg ha⁻¹ da fórmula 12:32:00 + 1% de Zn e uma aplicação em cobertura à lanço com 150 kg ha⁻¹ de KCl aos dois dias após a emergência (DAE). Aos 15 e 36 DAE foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de uréia (45% de N). O total de N, P₂O₅ e K₂O aplicado no milho na forma mineral foi de 151,2, 96 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente. A aplicação do DLB foi aos quatro DAE. Utilizou-se o milho híbrido P30R50, em espaçamento entre linhas de 0,8 m, com 75000 sementes por hectare.

A área experimental estava sendo manejada no sistema de plantio direto há mais de 13 anos, com duas safras anuais, uma de inverno e outra de verão, sendo o milho e a soja, culturas de verão e a aveia preta e o trigo, culturas de inverno (Quadro 5).

A composição do DLB e a quantidade de N, P e K aplicados como adubos minerais desde o início do experimento a (Quadro 5)

Quadro 5. Anos e safras agrícolas e quantidade de N, P e K da adubação com dejetos líquido bovino leiteiro (DLB) para cada m³ de DLB aplicado, e na adubação mineral na área experimental no período de novembro de 2005 à abril de 2009.

Ano Agrícola	Safr Agrícola	DLB			Adubação mineral		
		N	P	K	N	P	K
		kg por 1 m ³			Semeadura e cobertura kg ha ⁻¹ safra ⁻¹		
Verão 05/06	Aveia preta	0,19	0,11	0,42	0	26	46
Inverno 06	Milho	1,06	0,42	0,83	0	0	0
Verão 06/07	Aveia preta	0,84	0,35	0,93	186	56	0
Inverno 07	Soja	1,15	0,32	0,94	36	26	46
Verão 07/08	Trigo	0,78	0,30	1,09	0	26	46
Inverno 08	Aveia preta	nd	nd	nd ²	0	0	0
Verão 08/09	Milho	2,60	0,92	1,92	151	42	102
Média		1,10	0,40	1,02	53	25	34
Total (Soma)		6,62	2,41	6,12	373	176	240

¹ Adaptado de Silveira (2009)

² nd = Não determinado

Após a colheita do milho, foram coletadas amostras de solo em seis profundidades: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. As amostragens foram feitas nas entrelinhas da cultura do milho. Para compor as amostras foram coletados 15 sub – amostras com o trado calador até a profundidade de 40 cm e 5 sub – amostras com trado holandês de 40 cm até a profundidade 100 cm, na área útil da parcela. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR para secagem a 60° C, e posterior realização das análises químicas.

O pH foi obtido através de leitura potenciométrica com solução de CaCl₂ 0,01 N relação solo/solução 1:2,5. A acidez potencial (H + Al) foi estimada após a leitura do pH após a adição de solução tamponada SMP às amostras de solo, utilizando-se a correlação com o índice de SMP (Raij & Quaggio, 1983). O Ca²⁺ e o Mg²⁺ trocáveis foram extraídos com KCl 1mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O alumínio foi

extraído após o Ca^{2+} e o Mg^{2+} com KCL 1 mol L^{-1} e sua leitura foi realizada com titulação com Na(OH). O fósforo e o potássio foram extraídos via Mehlich 1 e foram determinados pelo método colorimétrico e por fotometria de chama, respectivamente (Pavan et al. 1992). As análises do N-total e C-total foram efetuadas por combustão via-seca, por meio do aparelho VARIO EL III - Elementar®.

O N-NO_3^- foi extraído com KCl 2M com proporção de solo:água de 1:10, ocorrendo agitação seguida de centrifugação para filtragem em membrana de 0,45 μm , utilizando-se espectrofotômetro de absorção ultravioleta UV-1601, da marca Shimadzu, sendo determinado pela diferença da interferência de Zn (Mulvaney, 1996).

Após as análises foi calculada a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%), a CTC a pH 7,0 e a CTC efetiva.

Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa ASSISTAT Versão 7.5 beta (2010), fazendo-se a análise de homogeneidade através do teste de Bartlett, análise de variância e análise de regressão. A produção de matéria seca da parte aérea, produtividade, nutrientes das plantas e solo foram submetidas à análise de correlação pelo programa estatístico R.

RESULTADOS

Carbono e nitrogênio orgânico e total

Os teores de carbono e de nitrogênio total do solo aumentaram com o aumento da dose de DLB apenas na camada superficial de 0-10 cm (Figura 7 A e B). Como o sistema de cultivo é o SPD a mais de 13 anos, não havendo revolvimento do solo, tanto o DLB, aplicado durante 3,5 anos, quanto os resíduos das plantas cultivadas permaneceram sobre o solo, justificando este aumento superficial. Além disso, a concentração de raízes das plantas é maior nesta camada.

Os teores de C e N total não aumentaram nas camadas mais profundas do solo com a aplicação de DLB, mesmo nas maiores doses (Figura 7), indicando sua relação com a MOS.

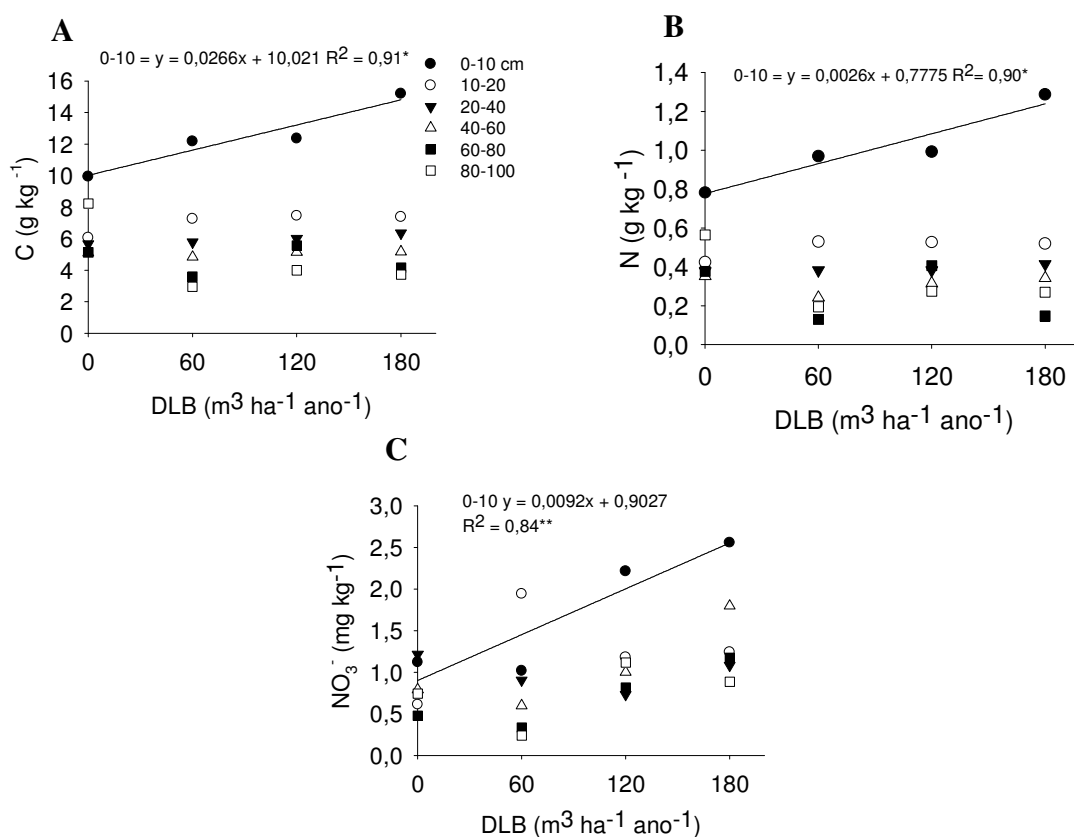


Figura 7. Teor de carbono (A) nitrogênio (B) orgânico total e nitrato (C) em diferentes profundidades do solo, em função da adição de diferentes doses de dejetos líquidos de bovino (DLB) em Latossolo Vermelho-Amarelo em Ponta Grossa – PR.

Acidez, cálcio e magnésio

Assim como o N e C do solo, a aplicação de DLB aumentou o pH e o teor de Mg até 20 cm de profundidade e reduziu a acidez potencial (H+Al) e aumentou o teor de Ca somente na camada de 0-10 cm (Figura 8)

Estes efeitos sobre a acidez são consequência da ação neutralizante dos compostos presentes no DLB enquanto que para os teores de Ca e Mg, o aumento é devido à adição acumulativa de aproximadamente 1,8 e 1,2 kg de Ca e Mg para cada m^3 de DLB aplicado, respectivamente.

O aumento linear significativo de pH até a camada de 10 – 20 cm do solo, mostra que houve percolação do DLB até esta camada. Provavelmente, o alto teor de areia do solo (Quadro 4) confere uma maior capacidade de percolação do DLB aplicado.

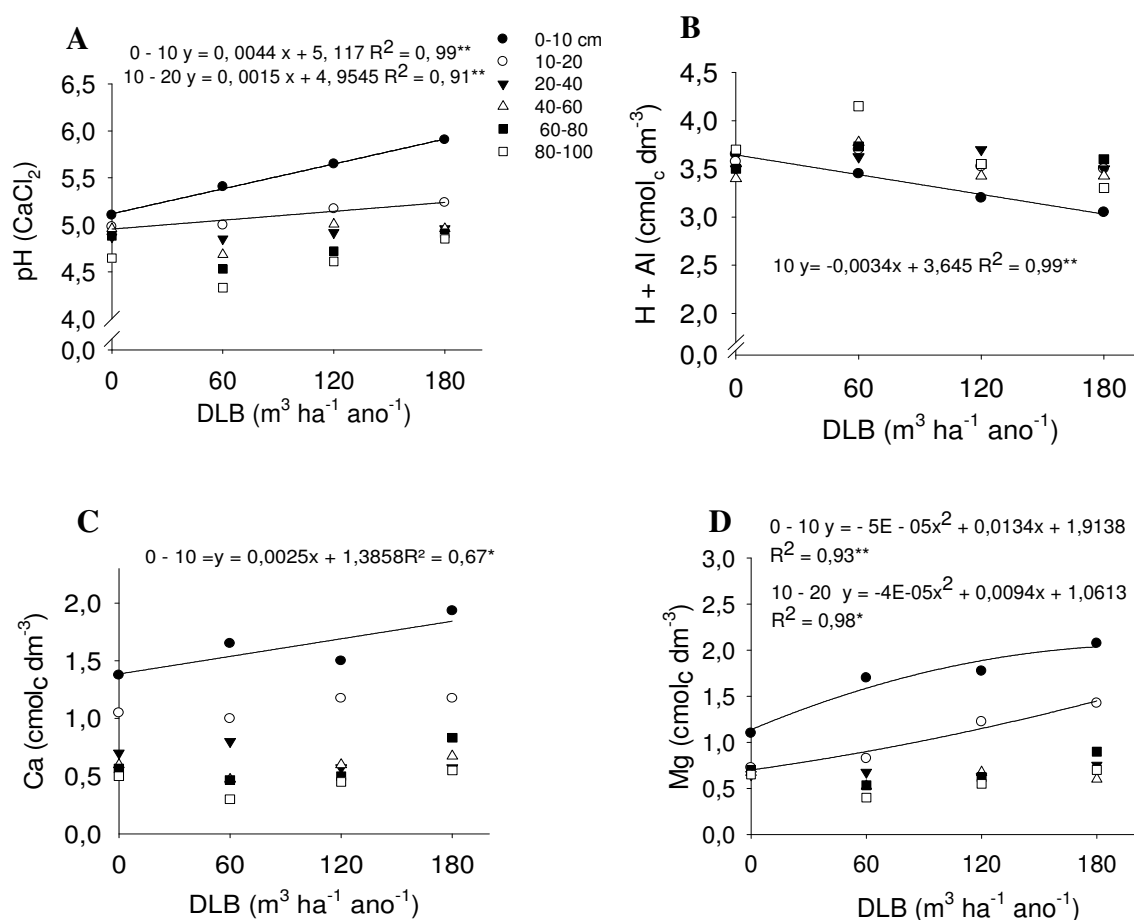


Figura 8. Acidez ativa (pH) (A), acidez potencial (H+Al) (B), teor de Ca (C) e de Mg (D) em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de dejetos líquidos bovinos (DLB) em Ponta Grossa - PR.

Potássio e fósforo

O aumento da dose de DLB aumentou a concentração de K no solo até 80 cm de profundidade (Figura 9 A). Na maior dose aplicada, os valores são classificados como muito altos até a camada de 40-60 cm, o que é um indicativo de perda de K por lixiviação ao longo dos anos. Tal fato se deve à aplicação de quantidades deste nutriente através da adubação mineral e do DLB acima da capacidade de absorção pelas plantas, e do sistema de cultivo em que permanece a parte aérea do milho, após a colheita dos grãos, que contribui para o aumento do teor de K do solo.

Observa-se elevado acúmulo de P até 20 cm de profundidade e posterior diminuição dos teores em maiores profundidades (Figura 9B). A partir de 20 cm de profundidade, os teores de P estão abaixo de 3 mg dm³, indicando teores muito baixos deste nutriente (Comissão de fertilidade do solo, 2004). A aplicação de doses crescentes de DLB aumentou o

teor deste nutriente apenas na camada superficial de 0-10 cm, como resultado da maior dose aplicada de P, em relação ao exportado pela cultura, especialmente nas duas maiores doses de DLB.

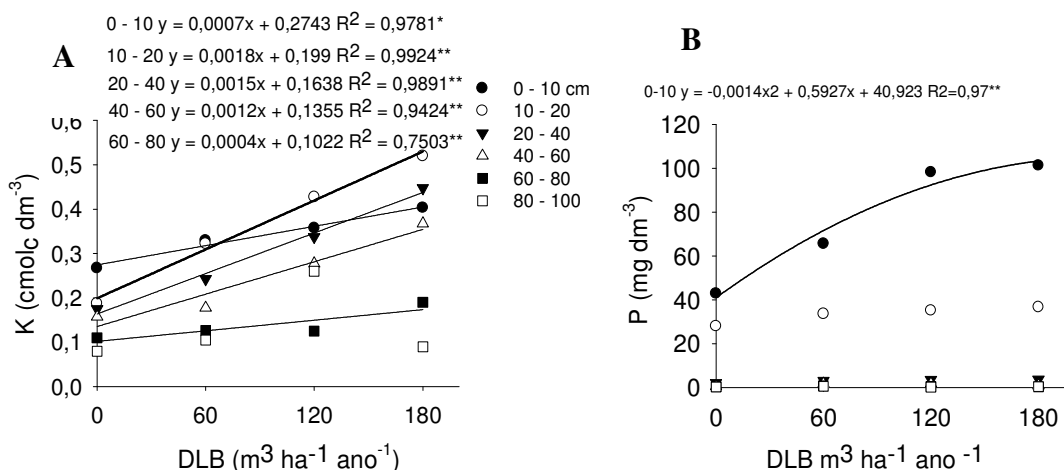


Figura 9. Potássio (A) e fósforo (B) no solo em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de DLB em Ponta Grossa - PR.

Cabe ressaltar que, antes da implantação do experimento a área foi por longo período cultivada com frutíferas e posteriormente cultivada com espécies anuais de grãos, o que justifica o alto teor de P no solo, mesmo sem a aplicação de DLB.

Micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn

O aumento das doses de DLB aumentou linearmente os teores de Cu, Zn e Mn na camada superficial de 0-10 cm do solo (Figura 10 A, B e C). O expressivo acúmulo de Cu e Zn pode ser explicado pela presença desses metais no DLB. A concentração de metais na superfície do solo em SPD é devido a ausência de revolvimento do solo e sua baixa mobilidade no perfil. Os teores de Cu aumentaram de médio para alto com o aumento das doses de DLB, enquanto os teores de Zn, Mn e Fe encontram-se alto (Comissão de química e fertilidade do solo, 2004). O aumento na disponibilidade desses micronutrientes no solo ocorreu mesmo com o aumento do pH, que em geral provoca decréscimo na disponibilidade do elemento.

Apenas o Zn variou na profundidade de 80-100 cm do solo com a aplicação de DLB (Figura 10B). Este efeito não encontra justificativa, mesmo porque os teores são muito baixos. Para Fe não foi observado aumento significativo sob efeito das doses de DLB.

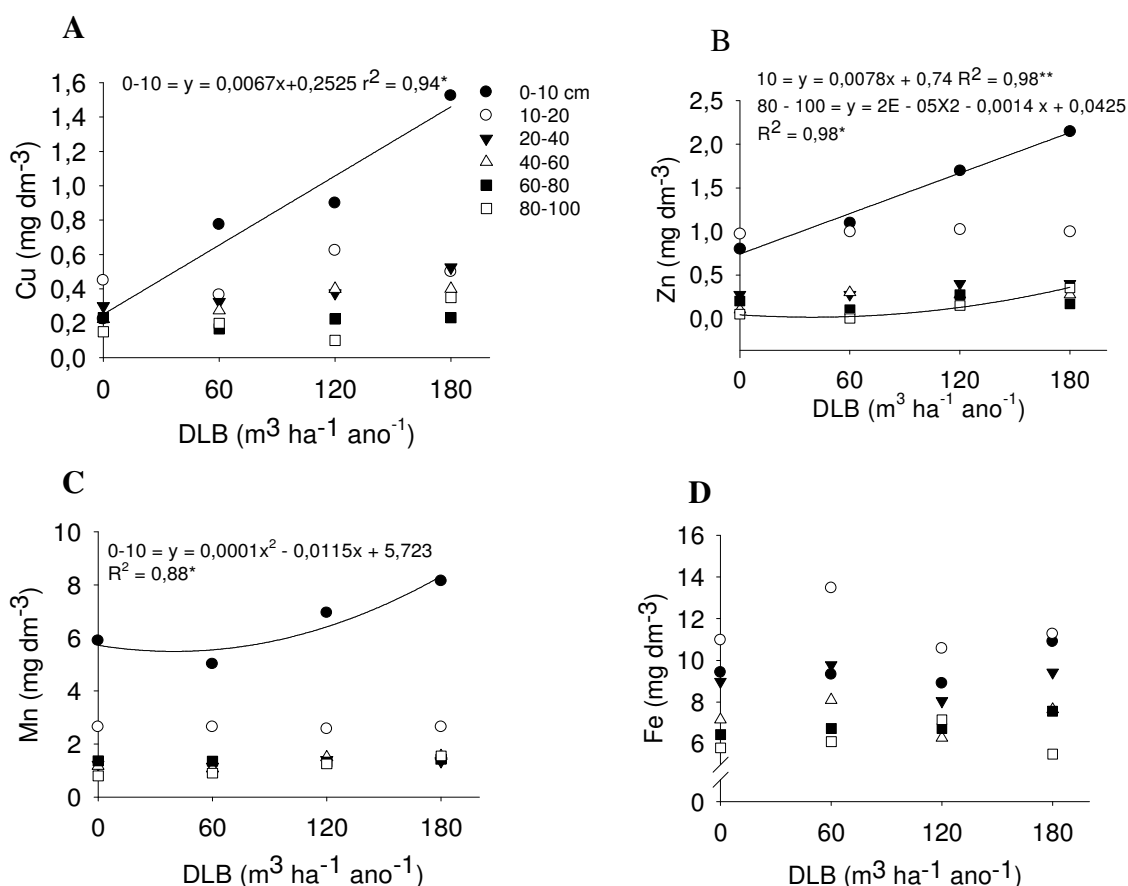


Figura 10. Teores de Cu (A), Zn (B), Mn (C) e Fe (D) em diferentes profundidades, sob adição de diferentes doses de dejetos líquido bovino (DLB) em Ponta Grossa - PR.

DISCUSSÃO

Carbono e nitrogênio orgânico e total

Os resultados do uso de esterco sobre o teor de C no solo é variável em função da dose aplicada (Mellek et al., 2010; Silva et al., 2010; Sutton et al., 1986), teor de matéria seca do dejetos (Sherer et al., 2010), tipo de solo (Dordas et al., 2008), duração de uso (Lithourgidis et al., 2007) e efeito sobre produção de biomassa das plantas (Andreola et al., 2000).

O aumento do teor de carbono na profundidade de 0 – 10 cm (Figura 7) discorda do observado por Sherer et al. (2010), que não encontraram aumento de MOS em áreas com histórico de aplicação de dejetos líquidos de suínos por 20 anos ou mais, atribuindo esta ausência de aumento a baixa concentração de matéria seca (3 g kg⁻¹) do esterco.

Porém, aumentos no teor de C no solo com a aplicação de esterco, normalmente são observados em experimentos de longo prazo. Andreola et al. (2000), por exemplo, obtiveram

aumento de C até 20 cm de profundidade, quando da aplicação por 10 anos de esterco de aves e atribuíram este efeito também à contribuição das raízes da cultura do milho.

Segundo Mellek et al. (2010), apesar de aproximadamente 60% do C presente nos primeiros 20 cm superficiais do solo ser devido aos restos das plantas cultivadas, o aumento do C no solo nesta camada foi devido a aplicação de DLB, responsável por uma adição de 1,51 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹ com a aplicação anual de 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante dois anos consecutivos.

O uso de dejetos como fonte de N na agricultura é amplamente discutido com aumento das aplicações de doses de DLB (Whalen et al., 2000), de dejetos líquidos de suínos (Aita et al., 2008) e de dejetos líquidos e sólidos de gado de corte (Sutton et al., 1986) e por Ferreira et al. (2003) em experimento com uso de lodo de curtume.

O aumento do teor de N total somente na camada de 0-10 cm (Figura 7) indica a relação entre este componente e a MOS. Em esterco, aproximadamente 70% do total do N está na forma orgânica (Sherer et al., 2010). Além da concentração dos efeitos dos restos de culturas e do esterco ocorrer na camada superficial em função do SPD, outro fato que pode ter contribuído para este aumento de N foi o predomínio de gramíneas (cinco safras) em relação às leguminosas (duas safras) na rotação de culturas utilizada. Conforme relatam Amado et al. (2002), as gramíneas, pela sua elevada capacidade de absorção de N podem aumentar a ciclagem deste nutriente, pela redução de risco de contaminação do lençol freático com nitrato

Uma preocupação ambiental em relação ao uso de DLB é a possibilidade de contaminação do lençol freático pela lixiviação de NO₃⁻ (Aita et al., 2008). No entanto, a ausência de efeito da aplicação de DLB sobre o teor de NO₃⁻ em camadas mais profundas (Figura 8), indica não ter ocorrido esta lixiviação para as condições do estudo, apesar do alto teor de areia do solo (Quadro 4), o que possibilita maior lixiviação de nutrientes.

O aumento de nitrato na camada superficial de 0-10 cm do solo em função do DLB (Figura 7), não pode ser usado como uma afirmação de ausência de lixiviação de nitrato, pois, deve-se considerar também que o N foi avaliado apenas em uma data e que a movimentação do nitrato no perfil do solo apresenta variação temporal (Di & Cameron, 2002), sendo maior quando a aplicação ocorre em período chuvoso (Mori et al., 2009). Para Timofiecsyk (2009), perdas de nitrato por escoamento superficial foram encontradas, mesmo após 3 meses de aplicação do DLB, sob baixa precipitação (83mm) pluviométrica e declive moderadamente ondulado, indicando acúmulo na camada superficial do solo no SPD.

Acidez, cálcio e mágnesio

O efeito da aplicação de DLB sobre a diminuição da acidez do solo (FIGURA 8) também foi observado em outros experimentos (Silva et al., 2008; Ernani & Gianello, 1983). Este efeito é devido a presença de carbonatos (CO_3) e bicarbonatos (HCO_3) na composição do DLB. Estes compostos são adicionados na alimentação animal para a neutralização de ácidos no suco gástrico. Também são encontrados o hidróxido de Ca [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] (Whalen et al., 2000) utilizado para aumentar a digestibilidade das silagens pelo animal (Ruiz et al. 2008) e os ácidos orgânicos dos grupos carboxil e hidroxil fenólicos. Estes compostos tem importante papel no tamponamento da acidez e na variação do pH de solos ácidos (Whalen et al., 2000).

A migração do efeito do dejetos sobre o pH na camada de 10-20 cm, indica que a textura franco – argilo – arenosa desse solo, com aproximadamente 700 g kg^{-1} de areia até 20 cm de profundidade (Quadro 4) confere uma maior capacidade de infiltração do DLB aplicado. O que também pode ter contribuído para esta infiltração do DLB no perfil do solo foi o aumento da taxa de infiltração, condutividade hidráulica e porosidade em função da aplicação de DLB no solo avaliadas neste mesmo experimento (Mellek et al., 2010). Os mesmos autores observaram aumento da macro e microporosidade na camada superficial de 0–5 cm, cujo efeito foi restrito a camada superficial, pois o DLB não foi incorporado.

Devido sua baixa mobilidade no solo e pela aplicação superficial do DLB, os acréscimos de Ca ficaram restritos à primeira camada analisada (Figura 8C), concordando com diversos autores (Silva et al., 2008; Barcelos, 2005; Chang et al., 1991; Whalen et al., 2000; Bickelhaupt et al., 1989). Além disso, o sistema de cultivo adotado no experimento é o SPD, não havendo incorporação mecânica ao solo do Ca aplicado superficialmente através do DLB ou mesmo da calagem.

O teor de Mg aumentou até a camada de 10-20 cm de profundidade com o aumento da dose de DLB (Figura 8C). Este efeito é consequência da maior quantidade deste nutriente aplicada com o aumento da dose de DLB e da mobilidade deste nutriente no solo (Silva et al., 2008), dado sua menor força de adsorção em relação ao Ca (Meurer et al., 2006). Assim como para o pH, os altos teores de areia do solo e o aumento da infiltração e da porosidade do solo pelo uso a longo prazo de DLB, possivelmente favoreceram o deslocamento do Mg aplicado superficialmente até 20 cm de profundidade.

O SPD determina maiores variações químicas na superfície do solo para elementos de menor mobilidade (Andreola et al., 2000). Contudo, em muitas condições o efeito do uso de esterco pode afetar camadas mais profundas.

Potássio e fósforo

O efeito da adubação com esterco de animais em aumentar o teor de K no solo em relação a adubação mineral é enfatizado por outros autores (Bhattacharyya et al., 2007; Bakayoko et al., 2009) assim como a maior lixiviação do elemento para camadas mais profundas do solo (Sherer et al., 2010).

O K disponibilizado da palha, assim como aquele adicionado via adubação, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente aplicado e da textura do solo (Rosolem et al., 2006).

Além da aplicação de K com o DLB e adubo mineral, a região de Ponta Grossa apresenta elevada precipitação anual, com aproximadamente 1833 mm por ano (FABC, 2010), que aliada ao alto teor de areia do solo, justificam o deslocamento deste nutriente para as camadas mais profundas (Figura 9A). Entretanto, Werle et al. (2008) atribui a intensa lixiviação de K até a camada de 20 cm de profundidade aos seis anos de histórico de adubação com este nutriente e da rápida passagem do K não trocável para o K trocável nas formas lixiviáveis, dependendo mais da CTC do que da textura do solo. Solos mais desenvolvidos como os Latossolos, também podem apresentar maior lixiviação de K que os menos desenvolvidos como os Cambissolos e Neossolos (Sherer et al., 2010).

A movimentação do K em profundidade no perfil do solo esta condicionada ao balanço entre dose aplicada e exportação pelas culturas. Elevadas doses podem aumentar o K no solo quando cultivado para a produção de grãos, mas não garante o mesmo efeito sob produção de silagem (Silva et al., 2010; Culley et al., 1981), pois a parte aérea onde esta concentrada aproximadamente 70% do potássio da planta é retirada da área de cultivo junto com os grãos na colheita (Pauletti et al., 2004). Os altos níveis de K no solo e seu deslocamento em profundidade (Figura 9) indicam doses deste nutrientes aplicadas como adubo mineral e DLB superiores à exportação pela colheita, bem como a possibilidade de perdas por lixiviação.

Incremento de P em função do uso esterco é amplamente citado na literatura (Ceretta et al., 2010; Singh et al., 2007; Silva et al., 2010; Sherer et al., 2010; Queiroz et al., 2004; Falleiro et al., 2003; Motavalli e Miles, 2002). Além da dose aplicada, outro fato que pode ter contribuído para este aumento do teor de P disponível na camada de 0-10 cm é o aumento no teor de matéria orgânica nesta camada, uma vez que a mesma tem capacidade de diminuir a adsorção deste nutriente (Gatiboni et al., 2008; Singh et al., 2007).

A ausência de movimentação deste nutriente no solo (Bertol et al., 2010) e a aplicação superficial dos adubos minerais e do DLB sem revolvimento do solo no SPD, justificam esta concentração superficial de P (Figura 9).

O aumento dos teores de P no solo quanto ao uso de DLB leiteiros é um risco quando ocorre em áreas que apresentam fatores de transporte de P (Shigaki et al., 2006) que necessitam de um manejo adequado devido aos riscos de perda de P por erosão via escoamento superficial (Sharpley et al., 2001; Mori et al., 2009), podendo alcançar os recursos hídricos, contaminando - os. Entretanto, a aplicação de DLB pode diminuir as perdas de P por promover a proteção física deste elemento pela M.O, quando aplicado em época de menores pluviosidades e aumentar a porosidade do solo e a taxa de infiltração de água (Silveira, 2009; Mellek et al. 2010).

Micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn

O efeito do uso de esterco no teor disponível de micronutrientes no solo é variável. Wong et al. (1999), concordando com os resultados obtidos no atual trabalho, observaram que a aplicação de esterco não influenciou o teor de Fe^{2+} extraído por DTPA e aumentou os de Zn, Cu e Mn. Entretanto, Leonel & Damatto Junior (2008) encontraram aumento do teor de Cu, Mn e Fe e diminuição linear de Zn com a aplicação de doses de esterco sólido de suínos, atribuindo este efeito às baixas concentrações de micronutrientes no esterco e ainda ao aumento de produtividade, o que contribuiu para o aumento da exportação deste micronutriente. O fato de que os teores de Zn e Cu no esterco variam com a alimentação animal e com o tratamento nas esterqueiras pode explicar parte destas variações observadas (Motta et al., 2007).

O aumento do Cu disponível na camada superficial do solo (Figura 10A), não era esperado, pois, houve aumento do C orgânico (Figura 7A) e do pH (Figura 8A) nesta camada. Este nutriente apresenta elevada força de adsorção pela matéria orgânica, que é intensificada pela elevação do pH (Meurer et al., 2006; Motta et al., 2007). Queiroz et al. (2004) também atribuíram aos fatores acima a diminuição dos teores de Cu com o aumento das doses de esterco.

De acordo com Mullins et al. (1982) os teores de Cu são maiores em solos arenosos que não possuem quantidades expressivas de Fe e Mn. Entretanto, acúmulo por metais pesados como Cu e Zn, na camada superficial do solo, também foram encontrados em solos muito argilosos devido a aplicações sucessivas de DLB (Bertol et al., 2010). Chang et al. (1991)

encontraram aumentos significativos deste nutriente até 30 cm de profundidade do solo sob aplicação de DLB em solo argiloso.

Maiores valores de Mn na camada superficial sob SPD (Figura 10C) indicam que o elemento é muito sensível a presença de MOS, que ao contrario do Cu, promove o aumento da sua disponibilidade (Meurer et al., 2006). Assim, é provável que o aumento de MO proporcionado pela aplicação de DLB na camada superficial (Figura 7A) seja responsável pela elevação da disponibilidade de Mn.

O aumento da concentração de Zn na camada superficial (Figura 10B) do solo proporcionado pela aplicação de DLB era esperado, visto que embora tenha adsorção específica (Meurer et al. 2006) a força envolvendo a adsorção com a matéria orgânica é menor que a do Cu e a quantidade adicionada pelas aplicações sucessivas de DLB durante os três anos e meio anteriores a coleta do solo, supera a quantidade adsorvida. Concordando com este resultado, Kornegay et al. (1976) em estudos com dejetos líquidos de suínos observaram o aumento do conteúdo de Zn até 10 cm de profundidade.

O aumento do Cu, Zn e Mn na camada superficial esta relacionada a baixa mobilidade desses elementos, e está condicionada à adsorção específica em solos com altos teores de óxido de Fe e Al e ainda, pela complexação em solos com altos teores de MOS (Meurer et al. 2006).

CONCLUSÕES

A camada de solo 0-10 cm foi a mais influenciada pela aplicação de DLB com diminuição da acidez e aumento na quantidade de C e na disponibilidade de nutrientes.

O K foi o único nutriente com potencial de perda por lixiviação, pois seu teor aumentou até 80 cm de profundidade do solo, com a aplicação de DLB.

Em SPD a aplicação de DLB pode diminuir a necessidade de adubação mineral, pois aumentou o teor de nutrientes além de diminuir a acidez do solo.

LITERATURA CITADA

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32 : 2101-2111, 2008.

AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S. J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. R. Bras. Ci. Solo, 30: 901-910, 2006.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistemas de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S. e OLSZEWSKI, N. Propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciada pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. R. Bras.Ci. Solo, 24 : 609-620, 2000.

ASSISTAT 7.5 beta 2010. Disponível em: < <http://www.assistat.com/index.html> >. Acesso em 09 dez. 2010.

BAKAYOKO, S.; SORO D; NINDJIN.,C.; DAO, D.; TSCHANNEN, A.; GIRARDIN, O.; ASSA, A. Effects of cattle and poultry manures on organic matter content and adsorption complex of a sandy soil under cassava cultivation (*Manihot esculenta* Crantz.) African Journal of Environ. Science and Technology Vol. 3 (8), pp. 190-197, August, 2009.

BARCELOS, M. Adubação orgânica e mineral na produção de culturas em rotação sob plantio direto e nas propriedades químicas do solo da região dos campos gerais do Paraná – Curitiba, Dissertação de mestrado, UFPR, 2005.

BHATTACHARYYA, P.; CHAKRABARTI, K.; CHAKRABORTY, A.; NAYAK, D.C.; TRIPATHY S & POWELL, M.A. Municipal waste compost as an alternative to cattle manure for supplying potassium to lowland rice. Chemosphere 66,1789–1793, 2007.

BERTOL, O.J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, J.; RIZZI, N.E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 34: 1841 – 1850, 2010.

BICKELHAUPT, D. H. The long - term effect of a single application of horse manure on soil pH. Tree Planter's Notes 40: 31-33, 1989.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L. d.; TRENTIN, G. e MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.45, n.6, p.593-602, jun. 2010.

CHANG, C. SOMMERFELDT, T. G & ENTZ, T. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 20: 475 – 480, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004.

CULLEY, J. L. B.; PHILLIPS, P. A.; HORE, F. R & PATINI, N. K. Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications. Can. J. Soil Sci. 61: 1981, 35 – 46.

DI, H. J. & CAMERON, K.C. Nitrate leaching and pasture production from different nitrogen sources on a shallow stoney soil under flood-irrigated dairy pasture. Austral. J. Soil Res. 40:317-334, 2002.

DORDAS, C.A.; LITHOURGIDIS, A.S.; MATSI, T & BARBAYIANNIS, N. Application of liquid manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 80:283-296, 2008.

EMBRAPA - Fundação ABC. Mapa do levantamento semi-detalhado de solos: Município de Castro. Elaborado por: FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; BOGNOLA, I. A.; POTER, R. O., 2001.

ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Diminuição do Alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. *R. Bras. Ci. Solo*, 7: 161 – 165, 1983.

FABC, Fundação ABC. Dados climatológicos de Castro e Ponta Grossa, 2010.

FALLEIRO, R. M, SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A & FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 1097-1104, 2003.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 1753 – 1782, 2008.

HEINZMANN, F.X.; MIYAZAWA, M.; e PAVAN, M.A.; Determinação de nitrato em extratos de solos ácidos por espectrofotometria de absorção ultravioleta. *R. Bras. Ci. Solo*, 8: 159 -163, 1984.

HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solo e plantas. Curitiba, UFPR, 1976, 225p.

IBGE, Censo Agropecuário 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009>>. Acessado em 5 de janeiro de 2011.

KORNEGAY, E.T.; HEDGES, J.D.; MARTENS, D.C.; and KRAMER, C.Y. Effects on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. *Plant . Soil*, 45, 151 – 162, 1976.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COOLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Sci. Society of America. p.37-51,1994..

LEONEL, S. & DAMATTO JUNIOR, E.R.;Efeitos do esterco de curral na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da figueira. *Rev. Bras. Frutic.*, 30:534-539,2008.

LITHOURGIDIS, A.S.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N. & DORDAS, C.A. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition and soil properties. *Agron.J.* 99:1041-1047, 2007.

MELLEK, J. E. Dejetos Líquidos bovinos e alterações em atributos físicos e estoque de carbono de um latossolo sob plantio direto. Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2009, 49 p. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: Meurer, J. E. Fundamentos de química do solo. 3º Ed. Evangraf, 2006.

MORARI, F.; LUGATO, E.; GIARDINI, L. Olsen phosphorus, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution. *Agric., Ecosys. Environ.* 124, p.85–96, 2008.

MORI,H.F.; FAVARETTO,N.; PAULETTI,V.; DIECKOW,J.; SANTOS,W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. *Rev.Bras.Ci.Solo* 33,189–198, 2009.

MOTAVALLI, P. P. & MILES, R. J. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. *Biol. Fertil. Soils* 36:35–42,2002.

MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; REISMANN, C.B. & DIONISIO, J.A. Micronutrientes na rocha, solo e na planta. 1º Edição, Curitiba: Edição do Autor, 2007. v.1. 246p.

MTAMBANENGWE, F. & MAPFUMO, P. Effects of organic quality on soil profile N dynamics and maize yields on Sandy soils in Zimbabwe. *Plant . Soil*, 281:173-191, 2006.

MULLINS, G.L.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P.; KORNEGAY, E.T.; and HALLOCK, D.L. Copper availability, form, and mobility in soils from three annual copper – enriched hog manure applications. *J.Environ. Qual.*, vol. 11, n. 2, p. 316- 320,1982.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B. M & SANTOS, I.R.dos. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. *Scientia Agraria*, Curitiba, 9:199-205, 2008.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e interpretação. 2 ed. Castro, PR, 2004.

PAVAN, M. A; BLOCH, M. F; ZEMPULSKI, H. C; MIYAZAWA, M; ZOCOLER, D. C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 1992, 40 p. (Circular 76).

PELES, D. Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquido de suínos. Tese (Mestrado e Ciências do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2007.

QUEIROZ, F. M de.; MATOS, A. T de.; PEREIRA, O. G & OLIVEIRA, R. A. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ci. Rural*, Santa Maria, v. 34, n5, p. 1487 – 1492, 2004.

R. IHAKA, R. & GENTLEMAN, R. R: a language for data analysis and graphics. *J. Comp. Graph. Stat.*, 5:299–314, 1996.

RAIJ, B.; Van & QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim técnico, n.81, p. 1- 31, 1983.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F. P. dos.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. *Pesq. Agropec. Brás. Brasília*, v41, n6, p 1033-1040, 2006.

RUIZ, U. dos S; THOMAZ, M. C.; HANNAS, M.I.; FRAGA, A.L.; WATANABE, P.H.; SILVA, S. Z da. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. *R. Bras. Zootec.* v.37, n 3, 458-468, 2008.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R.W.; KLEINMAN. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant . Soil*, 237:287 -307, 2001.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1375-1383, 2010.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal – based agricultural, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. *Sci. Agric, Piracicaba*, v.63, n2, p. 194 -209, 2006.

SILVA, J. C. P da; MOTTA, A. C. V; PAULETTI, V; FAVARETTO, N; BARCELLOS, M; OLIVEIRA, A. S. de, VELOSO, C. M & SILVA, L. F. C e. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um LATOSSOLO BRUNO. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 2538-2572, 2008.

SILVA, J. C. P. M. DA; MOTTA, A. C.V; PAULETTI, V; VELOSO, C. M; FAVARETTO, N; BARCELLOS, M; OLIVEIRA, A. S. DE; SILVA, L. F. C. e. Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*.vol.34:Viçosa, 2010.

SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N; DIECKOW, J; PAULETTI, V; VEZZANI, F; SILVA, E.D.B. Dejeito Líquido Bovino em Plantio Direto: Perda de carbono e Nitrogênio em escoamento superficial. *Rev. Bras. de Ci. do Solo (Online)*, 2011.

SINGH, M; REDDY, K. S; SINGH V.P; RUPA T.R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) - wheat (*Triticum estivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. *Biores. Technology* 98, 1474 – 1481, 2007.

SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; KELLY, D.T.; HILL, D.L. Comparison of solid vs. liquid manure applications on corn yield and soil composition. *J. Environ. Quality*, v. 15, n. 4, p. 370-375, 1986.

TIMOFIECSYK, A. Perdas de água, solo e nutrientes com aplicação de dejeito líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em latossolo bruno. *Dissertação de mestrado em ciência do solo, UFPR– PR*, 72p. 2009.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e disponibilidade do nutriente no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 2297 – 2305, 2008.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W & CAREFFOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Amb. J.* 64: 962-966, 2000.

WONG, J. W. C; MA, K.K; FANG, K.M & CHEUNG, F. C. Utilization of manure compost for organic farming in Hong Kong. *Biores. Technology*, 67, 1999, 43 -46.

CAPITULO 3. APLICAÇÃO SUCESSIVA DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS LEITEIROS EM PLANTIO DIRETO PODE AUMENTAR A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS SEM AFETAR A PRODUTIVIDADE DO MILHO – PONTA GROSSA – PR.

RESUMO

A utilização de dejetos líquidos de bovinos de leite (DLB) se constitui em uma alternativa sustentável pela diminuição dos custos de produção em função do fornecimento de nutrientes às plantas e em muitos casos, pelo aumento da produtividade das culturas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de DLB por três anos e meio consecutivos sobre nutrientes na planta e a produtividade de milho. O estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ponta Grossa- Paraná, cultivado sobre plantio direto por mais de 13 anos. Os tratamentos utilizados foram doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Todos os tratamentos receberam adubação mineral. Parâmetros químicos foram avaliados na biomassa aérea do milho quando da colheita e produtividade da cultura. A produtividade de grãos e de biomassa aérea não aumentaram com uso de DLB. O aumento das doses de DLB proporcionou aumento da quantidade de N, P e K na biomassa aérea das plantas que serão recicladas ao sistema na forma de resíduos de cultura.

PALAVRAS – CHAVE: Ciclagem de nutrientes, Grãos de milho, Adubação Orgânica.

SUMMARY

The use of Dairy liquid manure (DLM) constitutes a sustainable alternative for the reduction of production costs depending on the supply of nutrients to plants and in many cases, increased crop productivity. Thus, this study aimed to evaluate the influence of application of DLM for three and a half years in a row on the plant nutrients and productivity of maize. The study was conducted in a Oxissol Ponta Grossa, PR, grown on no-till for over 13 years. The treatments were doses of DLB (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ yr⁻¹). All treatments received mineral fertilizer base. Chemical parameters were evaluated in biomass of corn at harvest and crop productivity. Grain yield and biomass of corn did not increase with use of DLM. Increasing doses of DLM provided to increase the amount of N, P and K in aboveground biomass of plants the system will be recycled in the form of crop residues. The application of DLM promotes increased nutrient content in aboveground plant without altering the production of grains and biomass aerial.

KEY–WORDS: nutrient cycling, grain of corn, organic fertilizer.

INTRODUÇÃO

O Paraná se destaca por ser o terceiro maior produtor de leite em confinamento do Brasil, sendo o município paranaense de Castro, localizada nos Campos Gerais do Paraná, o maior produtor nacional, com um volume anual de 166 milhões de litros em 2009 (IBGE, 2009). Essa grande capacidade leiteira pode gerar um grande volume de resíduos como os dejetos líquidos de bovinos (DLB).

A aplicação de DLB em áreas agrícolas, além de adicionar ao solo nutrientes essenciais às plantas, promove o aumento de matéria orgânica do solo (MOS) (Silva et al., 2010). Este aumento do teor de MOS colabora para o maior desenvolvimento radicular, por liberar mais N, e favorece a maior absorção de nutrientes, o que influencia em produção de matéria seca vegetal (Horn, 2006) sendo relevante para solos arenosos.

A adição de nutrientes ao solo através do esterco proporciona às plantas a maior absorção de nutrientes, incremento na síntese de proteínas e conseqüentemente maior fotossíntese que resulta em aumento do tamanho foliar e incrementos em produtividade (Souza & Fernandes, 2006).

Aumento no teor de N, P e K na biomassa das plantas de milho, foi constatado por Lithourgidis et al. (2007) em dois dos quatro anos de avaliação comparando a aplicação de DLB com a adubação mineral nitrogenada. Esses dados confirmam os de Ceretta et al. (2005), que aplicaram diferentes doses de dejetos líquidos de suínos em um sistema de rotação de culturas de aveia preta/milho e nabo forrageiro e verificaram que o aumento das doses do dejetos promoveu incremento na produção da matéria seca, produtividade de grãos e teor de N em todas as espécies em rotação. No entanto, nem sempre o aumento do teor de nutriente na planta reflete em aumento de produtividade, como foi observado por Edwards & Barber (1976) para o N.

A utilização de DLB, portanto, se constitui em uma alternativa sustentável pela diminuição dos custos de produção em função do fornecimento de nutrientes às plantas e em muitos casos, pelo aumento da produtividade das culturas, como constatado por vários autores na região dos Campos Gerais no Paraná (Pauletti et al., 2008; Barcelos, 2005; Silva, 2005) e em outras regiões (Sutton et al., 1986; Beauchamp, 1983; Abebe et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação por quatro anos de DLB em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa na absorção de nutrientes e produtividade de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi baseado em experimento de longo prazo instalado em novembro de 2005 na Estação Experimental de Ponta Grossa – PR, pertencente à Fundação ABC. As coordenadas geográficas do local são: 25° 13'S e 50° 01' W. E e a altitude é de 890 metros. O clima local é subtropical, classificado como “Cfb”, de acordo com o esquema de Köppen.

Na Figura 11 são apresentados os dados médios mensais de precipitação pluviométrica e de temperatura ocorridos durante o desenvolvimento do milho. No mês de Outubro houve precipitação de 60 mm de chuva, sendo suficiente para a fase inicial da cultura do milho (Fancelli, 2008). Nos meses de Novembro e Dezembro houve precipitação de aproximadamente 50 mm, porém com distribuição desuniforme, o que pode ter limitado parcialmente a expressão do potencial produtivo da cultura. O mês de Dezembro coincidiu com o florescimento do milho, sendo esta fase sensível à deficiência hídrica. Nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 a precipitação foi de aproximadamente 200 e 150 mm, o que corresponde a mais de três vezes o volume ocorrido nos dois meses anteriores.

As temperaturas médias observadas durante o desenvolvimento do milho variaram entre 14 e 22°C (Figura 11).

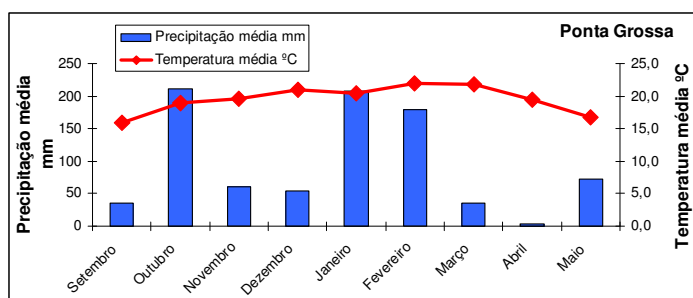


Figura 11. Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, durante o desenvolvimento da cultura do milho na safra 2008/2009 em Ponta Grossa – PR.

O solo local é um Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA/FUNDAÇÃO ABC, 2001), textura franco – argilo – arenosa. As características da fertilidade inicial e física do solo encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6. Análise química e textural do solo realizada em 2006, antes da instalação do experimento, em quatro profundidades, Ponta Grossa – Paraná.

Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	C	Argila	Areia Total	Silte
		cmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	g kg ⁻¹		
0 - 2,5	5,7	0,0	3,0	4,5	1,4	0,33	18,3	22,0	250	712	38
2,5 - 5	5,3	0,0	3,4	4,1	0,9	0,27	27,8	18,4	213	721	39
5 - 10	4,9	0,0	4,0	3,7	0,6	0,13	23,6	12,4	225	711	38
10 - 20	4,9	0,0	3,4	3,4	0,5	0,13	14,7	10,0	225	658	17

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de dejetos líquidos de bovinos leiteiros (DLB) (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e estão dispostos no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. A dose anual de DLB foi parcelada em duas aplicações, sendo metade logo após a emergência da cultura de inverno e metade após a emergência da cultura de verão.

A aplicação do DLB foi realizada em superfície, sem incorporação, após a emergência das plantas, com o objetivo de evitar a restrição mecânica à emergência devido à formação de uma “crosta” pela desidratação do DLB depositado na superfície, especialmente nas doses mais altas.

A composição do DLB aplicado em 2008, após a emergência do milho, é de 9,7 % de matéria seca de esterco apresentando 2,1 kg Mg⁻¹ de N, 0,6 kg Mg⁻¹ de P, 1,9 kg Mg⁻¹ de K, 1,8 kg Mg⁻¹ de Ca, 1,2 kg Mg⁻¹ de Mg, 0,5 g Mg⁻¹ de Fe, 0,7 g Mg⁻¹ de Zn, 0,02 g Mg⁻¹ de Cu e Mn para cada m³ de DLB aplicado. Os nutrientes no DLB foram determinados por digestão via seca de acordo com o método proposto por Hildebrand (1976).

Para este trabalho, avaliou-se o milho da safra 2008/09, semeado no dia 17/09/2008, com uma adubação mineral igual em todos os tratamentos. Na semeadura do milho foi utilizado 300 kg ha⁻¹ de adubo mineral na fórmula 12:32:00 + 1% de Zn e uma aplicação em cobertura à lanço de 150 kg ha⁻¹ de KCl aos dois dias após a emergência (DAE). Foi aplicado 300 kg ha⁻¹ de uréia (45% de N), aos 15 e 36 DAE das plantas milho. O total de N, P₂O₅ e K₂O aplicado na forma mineral foi de 151, 96 e 150 kg ha⁻¹ ano, respectivamente. A aplicação do DLB foi aos quatro DAE. Utilizou-se o milho híbrido P30R50, em espaçamento entre linhas de 0,8 m, com 75000 sementes por hectare.

A área experimental está sendo manejada no sistema de plantio direto há mais de 13 anos com duas safras anuais, uma de inverno e outra de verão, sendo o milho e a soja, culturas de verão e a aveia preta e o trigo, culturas de inverno.

A composição do DLB e a quantidade de N, P e K aplicados como adubos minerais desde o início do experimento são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Anos e safras agrícolas e quantidade de N, P e K da adubação com dejetos líquido bovino leiteiro (DLB) para cada m³ de DLB aplicado, e na adubação mineral na área experimental no período de novembro de 2005 à abril de 2009.

Ano Agrícola	Safr Agrícola	DLB			Adubação mineral		
		N	P	K	N	P	K
		kg por 1 m ³			Semeadura e cobertura kg ha ⁻¹ safra ⁻¹		
Verão 05/06	Aveia preta	0,19	0,11	0,42	0	26	46
Inverno 06	Milho	1,06	0,42	0,83	0	0	0
Verão 06/07	Aveia preta	0,84	0,35	0,93	186	56	0
Inverno 07	Soja	1,15	0,32	0,94	36	26	46
Verão 07/08	Trigo	0,78	0,30	1,09	0	26	46
Inverno 08	Aveia preta	nd	nd	nd ²	0	0	0
Verão 08/09	Milho	2,60	0,92	1,92	151	42	102
Média		1,10	0,40	1,02	53	25	34
Total (Soma)		6,62	2,41	6,12	373	176	240

¹ Adaptado de Silveira (2009)

² nd = Não determinado

Na maturação fisiológica do milho, aos 185 DAE, foram coletadas três plantas por parcela, para determinação da produtividade de matéria seca e análise de nutrientes. As plantas foram cortadas logo acima do segundo nó visível a partir da superfície do solo. Após a coleta os grãos foram separados manualmente, gerando-se uma amostra de grãos e outra de parte aérea menos grãos para cada parcela. Na sequência as amostras foram lavadas com água deionizada e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65° C e pesadas novamente para determinação da matéria seca.

A avaliação de nutrientes nas plantas de milho foi realizada após a moagem de todas as plantas inteiras em moinho tipo “wiley”. A determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn foi realizada através de digestão via seca, seguindo o princípio da queima da matéria orgânica. Foram incinerados aproximadamente um grama de cada amostra em mufla a 500° C por três horas, posteriormente adicionando-se três gotas de HCl 3 mol L⁻¹ e novamente incinerados em mufla a 500° C por três horas. Para a solubilização foi usado 10 ml de HCl 3 mol L⁻¹ (Martins & Reissmann, 2007).

A determinação do P foi realizada por colorimetria com molibdato-vanadato de amônio de reação amarela, lido no espectrofotômetro UV – VIS 1 na faixa de 420 nm em até duas horas. O K foi determinado por fotometria de emissão e os elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn, por espectroscopia de absorção atômica com chama (Martins & Reissmann, 2007).

As análises do N-total e C-total foram efetuados por combustão via-seco, por meio do aparelho VARIO EL III - Elementar®.

A produtividade de biomassa aérea foi obtida pela multiplicação do peso seco da biomassa aérea menos grãos das três plantas colhidas inteiras e posterior transformação para hectare, considerando a população final de plantas. As três plantas foram selecionadas pelo seu peso estar mais próximo da média do peso fresco de 10 plantas obtido a campo, conforme Pauletti (2004). Para determinação da produtividade de grãos colheram-se as espigas de 6 linhas de 2 metros em cada parcela. Após a trilha mecânica, determinou-se o peso e a umidade dos grãos, com posterior correção para 130 g kg^{-1} de umidade e extrapolação para hectare. Além da produtividade de grãos, foi determinada a massa de mil grãos (MMG), através da contagem de 250 grãos obtidos após o processamento das amostras para a determinação da produtividade, com posterior correção para 130 g kg^{-1} umidade e multiplicação por quatro e a população final de plantas e de espigas, através da contagem de todas as plantas colhidas para a determinação da produtividade de grãos e posterior transformação em hectare.

A quantidade de nutrientes na biomassa aérea foi obtida pela multiplicação do teor do nutriente pela biomassa aérea produzida por hectare.

Os dados da quantidade de nutrientes extraídas pela biomassa aérea foram obtidos pela multiplicação da concentração do nutriente em g kg^{-1} encontrada na biomassa aérea do milho pela quantidade de biomassa aérea em kg ha^{-1} . Este resultado foi utilizado para a obtenção da quantidade de nutrientes extraídas em cada tonelada de grãos produzida, sendo feita pela relação entre a quantidade de nutrientes extraídos pela biomassa aérea pela produtividade de grãos, corrigida para 13 g kg^{-1} de umidade.

Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa ASSISTAT Versão 7.5 beta (2010), fazendo-se a análise de homogeneidade através do teste de Bartlett, análise de variância e análise de regressão.

RESULTADOS

Produtividade de grãos e de biomassa aérea

A produtividade de grãos não foi influenciada pela aplicação de DLB (Figura 12A). A produtividade média foi de 9971 kg ha^{-1} , estando acima da média da região de Ponta Grossa no Paraná, que foi para a mesma safra de 9000 kg ha^{-1} (SEAB, 2010). Os dados obtidos sugerem que o potencial produtivo da cultura do milho para a região é alto.

É possível que a adubação mineral utilizada na safra 2008/09 e a condição climática, especialmente quanto à precipitação pluviométrica, possam ter contribuído para esta ausência de efeito do DLB.

O efeito residual de três anos e meio de aplicação de diferentes doses de DLB também não influenciou a produção de biomassa aérea do milho (Figura 12B) com produtividade média obtida de 10081 kg ha⁻¹.

Considerando a produtividade de grãos e de biomassa aérea da parte aérea pode-se determinar o índice de colheita, que é a relação entre a quantidade de grãos e de massa seca total da planta. Este índice diminuiu sensivelmente com o aumento da doses de DLB sendo de 0,50, 0,45, 0,49 e 0,49 para as doses 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

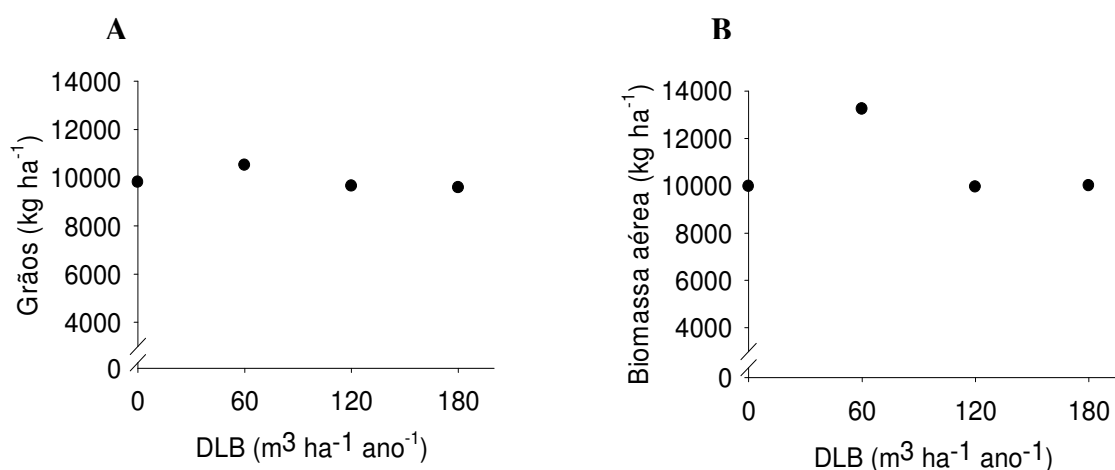


Figura 12. Produtividade de grãos (A) e de biomassa aérea de milho (B) cultivado em um Latossolo Vermelho- Amarelo em função de doses de dejetos líquidos de bovino leiteiro (DLB) – Ponta Grossa – PR.

A massa de mil grãos, população final de plantas e de espigas não foram influenciadas pela aplicação de DLB, tendo valores médios de 351 g, 75716 e 72400, respectivamente.

Teor de nutrientes na biomassa aérea

Os teores de N, P e K na biomassa aérea aumentaram com o aumento da dose de DLB, enquanto que a relação C/N e C/P diminuíram (Figura 13) e os teores de Ca, Mg, C, dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn não foram influenciados (Quadro 8)

Quadro 8. Teor de cálcio, magnésio, carbono e dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn na biomassa aérea de milho, em função de doses de dejetos líquidos bovinos (DLB) – safra 2008/09 em Ponta Grossa, PR.

DLB m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	Ca	Mg	C	Cu	Mn	Fe	Zn
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
0	0,45	1,71	440	1,68	18,10	49,56	4,84
60	0,52	1,81	452	3,23	19,05	36,47	5,21
120	0,58	1,93	438	2,44	17,85	52,74	3,93
180	0,44	1,90	437	2,70	17,61	49,37	5,15
Média	0,50	1,84	442	2,51	18,15	47,03	4,78

O aumento do conteúdo de N, P e K na biomassa aérea das plantas está relacionado ao aumento do fornecimento do nutriente à planta, através do DLB e a um efeito de concentração, já que a biomassa aérea não aumentou com o aumento da dose de DLB (Figura 12). Este aumento da absorção de K pelas plantas indica um consumo de luxo, já que o teor disponível no solo estava em níveis elevados no solo (Quadro 6) e foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de K₂O como adubo mineral.

A modificação na relação C/N e C/P (Figura 13) ocorreu em função da mudança do teor de N e P, respectivamente, na biomassa, uma vez que o teor de C não variou com a aplicação de DLB (Quadro 8). Tal fato pode ser importante para o processo de decomposição da palha deixada sobre o solo no SPD após a colheita, uma vez que menores relações C/N contribuem para aumentar a velocidade de decomposição.

A relação C/P se manteve acima de 300/1 (Figura 13) em todos os tratamentos, indicando o predomínio do processo de imobilização deste nutriente durante a decomposição do resíduo incorporado ao solo.

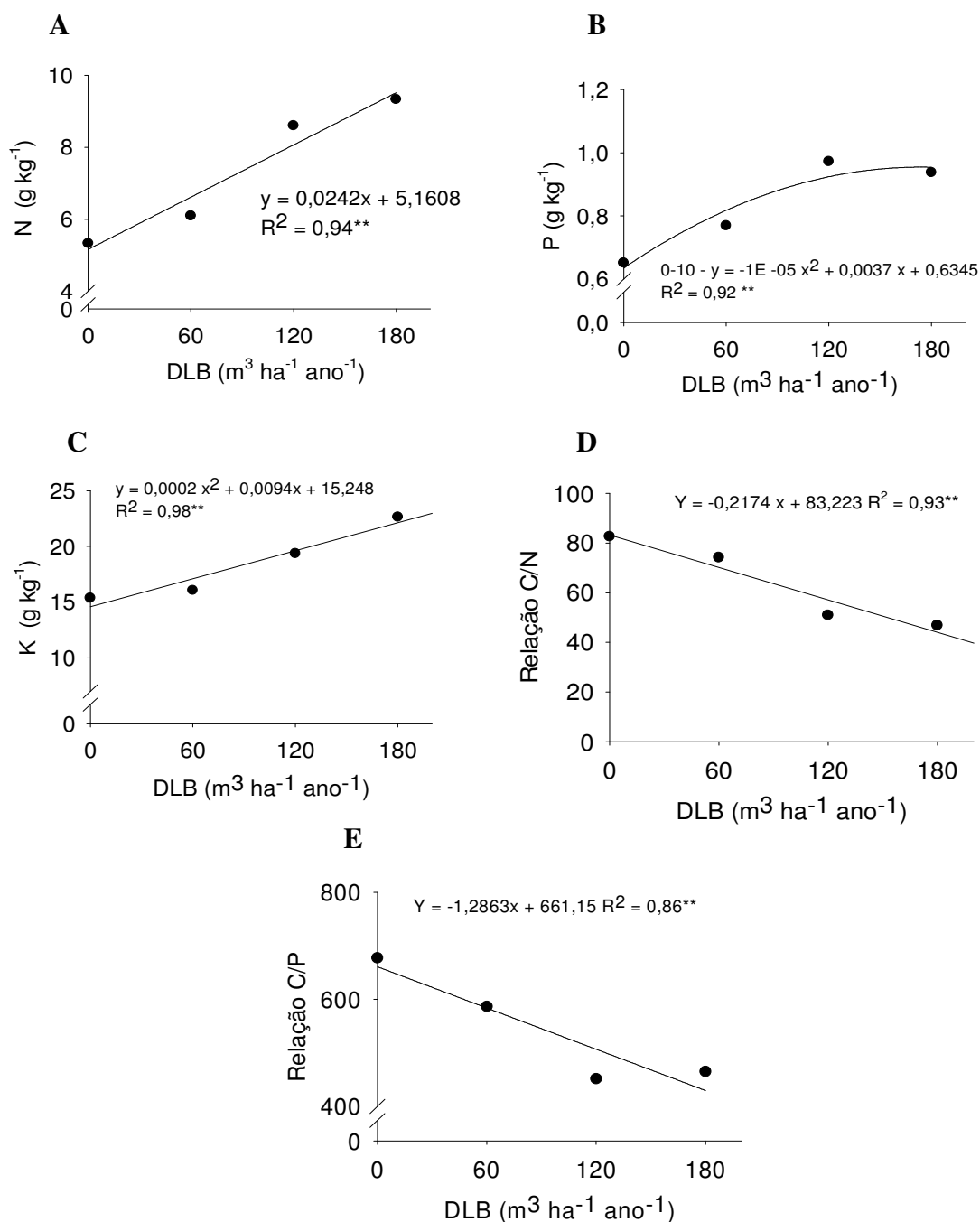


Figura 13. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) e relação C/N (D) e C/P (E) na biomassa aérea de milho, em função de doses de dejetos líquidos bovinos (DLB), safra 2008/09 em Ponta Grossa - PR.

Acúmulo de nutrientes na biomassa aérea

Houve aumento linear da quantidade de N, P e K extraída pela biomassa aérea com o aumento das doses de DLB (Figura 14), o mesmo não ocorrendo com os demais nutrientes

avaliados (Quadro 9). Observa-se, que o K foi o nutriente presente em maior quantidade na biomassa aérea de milho.

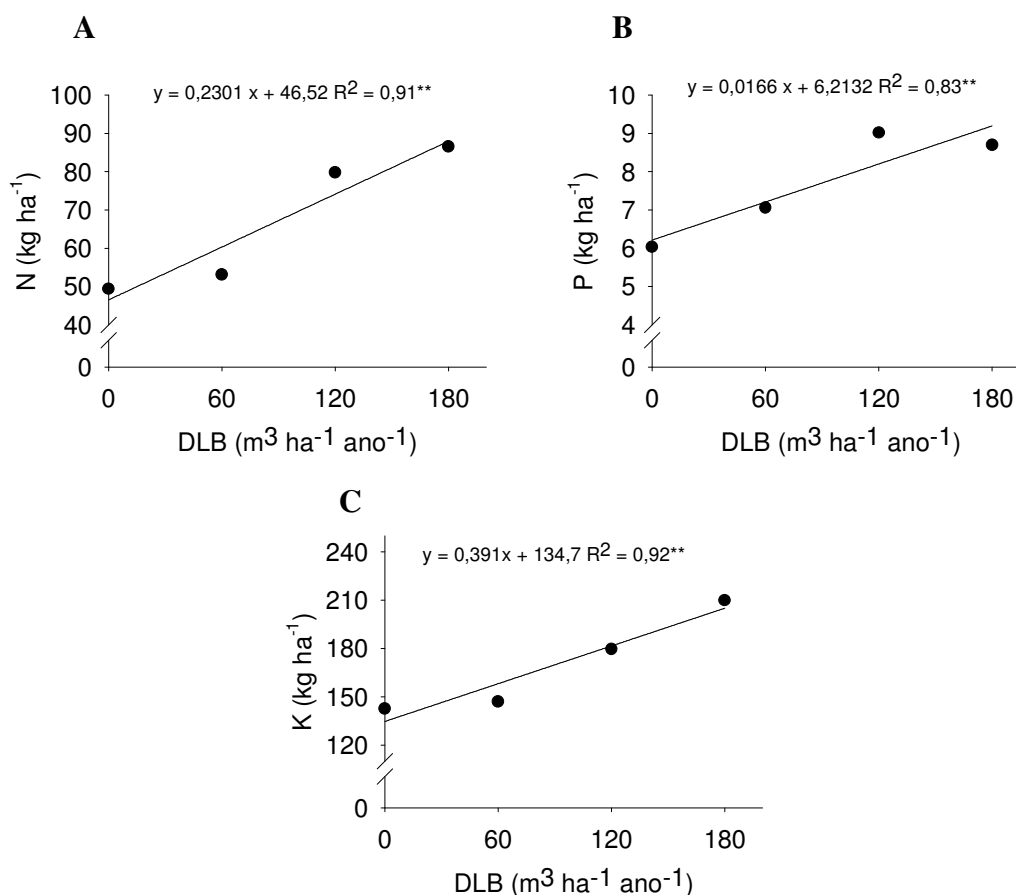


Figura 14. Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) na biomassa aérea do milho em função de diferentes doses de dejetos líquido bovino na safra agrícola 2009/2010.

Quadro 9. Acúmulo de nutrientes da parte aérea do milho em função de diferentes doses de dejetos líquido de bovinos leiteiros (DLB) em Ponta Grossa – PR na safra agrícola 2009/2010.

DLB	Ca	Mg	C	Fe	Mn	Zn	Cu
m³ ha⁻¹ ano⁻¹	kg ha⁻¹						
0	4,49	17,0	4391	0,5	0,2	0,05	0,018
60	6,88	24,0	5982	0,3	0,2	0,05	0,030
120	5,77	19,2	4361	0,6	0,2	0,04	0,026
180	4,40	19,0	4375	0,5	0,2	0,05	0,026
Média	5,39	19,8	4777	0,5	0,2	0,05	0,025

O aumento na quantidade de nutriente presente na biomassa aérea em função da aplicação de DLB, foi maior para N seguido de P e K, que aumentaram em 63, 50, 37%,

respectivamente, comparando o tratamento sem aplicação de DLB com a média das doses de DLB.

Como o objetivo da cultura é a produção de grãos, é relevante a análise de nutrientes na planta inteira, em sistema de plantio direto em que os restos culturais permanecem no sistema. Uma avaliação dos nutrientes da parte aérea da planta de milho pode dar uma estimativa de quanto será devolvido ao sistema na forma de ciclagem.

A manutenção dos restos culturais de milho, na área de produção, como colmo, folhas e brácteas pode devolver ao sistema, para cada tonelada de grão produzida, em média 477, 19,7, 7,9, 2, 0,9 e 0,5, kg de C, K, N, Mg, Ca e P, respectivamente, e 2,7, 19,6, 50,2 e 5,2 g dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn, respectivamente (Quadro 10).

Quadro 10. Quantidade de nutriente na biomassa aérea do milho, para cada tonelada de grão produzida na safra agrícola 2009/2010, em função de diferentes doses de dejetos líquidos de bovinos leiteiros (DLB) em Ponta Grossa - PR.

DLB m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	C	Cu	Mn	Fe	Zn
	kg						g			
0	5,4	0,66	15,6	0,46	1,7	448	1,7	18,4	50,4	4,9
60	7,4	0,94	19,6	0,63	2,2	552	3,9	23,3	44,5	6,4
120	8,9	1,00	20,0	0,60	2,0	452	2,5	18,4	54,4	4,1
180	9,7	0,98	23,6	0,46	2,0	457	2,8	18,4	51,5	5,4
Média	7,9	0,90	19,7	0,54	2,0	477	2,7	19,6	50,2	5,2

Além disso, é possível saber através destas concentrações de nutrientes quanto a biomassa aérea necessita para a produção de uma tonelada de grãos.

Observa-se que, apesar da aplicação de DLB não ter proporcionado aumento de produtividade de grãos e de biomassa aérea (Figura 12), a quantidade extraída para cada tonelada de grãos produzida aumentou para N e K (Quadro 10). Portanto, o aumento das doses de DLB influencia positivamente na ciclagem destes nutrientes.

DISCUSSÃO

Produtividade de grãos e de biomassa aérea

A ausência de efeito da aplicação de DLB sobre a produtividade de grãos e de biomassa aérea (Figura 12) do milho discorda do observado por outros autores (Sutton et al. 1986; Beauchamp, 1983; Lithourgidis et al. 2007 e Abebe et al. 2005). Contudo, diferente destes trabalhos este estudo foi conduzido com aplicação de doses de DLB em combinação com adubação mineral para suprir a necessidade da cultura. Na mesma região do Paraná,

Barcelos (2005) e Silva (2005) também obtiveram incrementos de produtividade de milho silagem e grãos sob o efeito da combinação do DLB com a adubação mineral. Contudo a adubação mineral aplicada não atendeu a necessidade das culturas em todos os tratamentos como neste experimento, mas sim com doses 0, 50 e 100% recomendada para as culturas.

O resultado obtido para a safra de milho 2008/09 é consequência da aplicação de DLB na safra e do residual de três anos e meio de aplicações. Portanto, esperava-se aumento de produção das plantas com a aplicação de DLB. Como o potencial produtivo da cultura para a safra é um dos fatores que afetam a resposta do milho ao uso de DLB (Ceretta et al., 2005), provavelmente as condições climáticas ocorridas durante a safra podem ter limitado o potencial produtivo da cultura e contribuído para esta ausência de efeito do DLB. Nos meses de novembro e dezembro houve precipitação de aproximadamente 50 mm por mês (Figura 11), porém com distribuição desuniforme, especialmente no mês de Dezembro (Figura 15), época do florescimento do milho e fase sensível à deficiência hídrica (Ferreira, 2009).

A dose de nutrientes aplicada através da adubação mineral também pode ter sido suficiente para atender a demanda da cultura para a produtividade obtida, de modo que o DLB não proporcionou efeito. Segundo Comissão de química e fertilidade do solo (2004) e o manual de adubação do Estado de São Paulo, para produtividades de milho de aproximadamente de 9000 kg ha⁻¹ e para os teores encontrados no solo (Quadro 10) seria necessário aplicar 165, 0 e 80 kg ha⁻¹ e 80, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, sendo valores inferiores aos aplicados no experimento, que foram de 151, 96 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente.

O teor de matéria seca do DLB também pode influenciar na adição de nutrientes. Ceretta et al. (2005), por exemplo, observaram aumento da produção de matéria seca da planta com o aumento das doses de dejetos líquidos de suínos na aveia preta, milho e nabo forrageiro em dois anos de aplicação. Contudo, este aumento de produção foi menor no segundo ano avaliado em função do esterco apresentar menor proporção de matéria seca (M.S = 3,7 g kg⁻¹) que no primeiro ano (M.S = 9,9 g kg⁻¹).

Entretanto, mesmo o fato do DLB utilizado apresentar 9,7 g kg⁻¹ de M.S, sendo um teor alto, houve uma neutralização deste efeito da aplicação imediata, possivelmente em função do histórico de aplicação de três anos e meio. Portanto, o histórico de aplicação foi mais importante na definição da produtividade do que somente o teor de M.S do DLB aplicado na cultura. Vale ressaltar que o DLB utilizado no ano agrícola 2009/2010 apresentou o maior teor de N, P e K em relação aos demais aplicados anteriormente (Quadro 7).

Mesmo não ocorrendo variação na produtividade de grãos e de biomassa aérea, percebe-se uma redução do índice de colheita do milho de 0,50 para 0,47 na média dos tratamentos com aplicação de DLB. O índice de colheita é a relação entre a biomassa aérea total (incluindo grãos) e a quantidade de grãos produzida e significa a eficiência da planta em destinar seus fotoassimilados para a produção de grãos. Segundo Martin et al. (2005) e Ferreira (2009), híbridos de maior potencial genético tendem a reduzir os gastos energéticos em produção de massa, ampliando o aproveitamento dos nutrientes na conversão para os grãos, apresentando índices de colheita entre 0,50 e 0,52 (Ferreira, 2009).

Esta redução no índice de colheita pode estar expressando o efeito da má distribuição das chuvas durante o florescimento da cultura (Figura 15). Como no florescimento o acúmulo de biomassa está próximo do máximo e nesta fase é definida a produção de grãos (Karlen et al., 1987), a relação entre biomassa e grãos tende a diminuir em caso de condição desfavorável nesta fase. Cultivares modernos e com elevado potencial produtivo, tendem a ter maior índice de colheita a medida que aumenta o fornecimento de nutrientes para a planta (Martin et al., 2005; Ferreira, 2009), desde que as demais condições sejam favoráveis para a planta expressar seu potencial produtivo.



Figura 15. Precipitação pluviométrica, em mm, do dia 1 a 31 do mês de dezembro de 2008 em Ponta Grossa – Paraná.

Teor e acúmulo de nutrientes na biomassa aérea

Aumento da concentração de N e K na biomassa de plantas foi observado por diversos autores (Lithourgidis et al., 2007; Sutton et al., 1986; Beauchamp, 1983; Ceretta, 2005; Abebe et al., 2005; Dordas et al., 2008).

O maior teor de N da parte aérea da planta (Figura 13 A) não se traduz em rendimento de grãos (Figura 12). Este nutriente, devido à maior disponibilidade, pode ser absorvido e se

acumular na planta em quantidades mais do que o necessário para a obtenção da máxima produtividade (Edwards & Barber, 1976).

Observa-se que o K foi o nutriente presente em maior quantidade na biomassa aérea de milho. Isto normalmente é observado, já que apenas aproximadamente 26% do total deste nutriente presente na parte aérea é armazenado nos grãos (Pauletti, 2004). A maior concentração de K na planta é encontrada nos colmos (Karlen et al. 1987), principal componente da parte aérea do milho (Ferreira, 2009). Aumentos dos teores de K na planta (Figura 13) podem ser atribuídos ao aumento do conteúdo do nutriente e à melhoria nas condições físicas do solo, conforme observado por Wong et al. (1999).

Para o P, corroborando com o que foi observado por Wong et al. (1999), que trabalhou com doses de composto de esterco, Culley et al. (1981) que avaliou doses de DLB de gado leiteiro e Lithourgidis et al. (2007) que estudou a comparação da aplicação de uma dose de 80 t ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB com a adubação mineral para atendimento da necessidade da cultura, a concentração de P aumentou na parte aérea do milho com o aumento das doses de DLB. Contudo, as condições para o aumento da concentração de P na parte aérea foram diferentes dos autores citados acima, como aplicação de doses de DLB combinada com adubação mineral e precipitação pluviométrica diferentes.

Observa-se que a relação C/P se manteve acima de 300/1 (Figura 13) em todos os tratamentos, indicando o predomínio do processo de imobilização deste nutriente durante a decomposição do resíduo incorporado ao solo. Esta alta relação C/P possivelmente é devido à maior participação do colmo na biomassa aérea do milho (Ferreira, 2009).

Os teores de Cu, Zn, Fe e Mn na biomassa aérea do milho estão abaixo dos encontrados por Martins et al. (2003) e Ferreira (2009) (Quadro 8). Estes baixos teores podem estar relacionados ao híbrido utilizado, pois, de acordo com Vyn & Tollenaar (1998), o conteúdo de Cu e Mn tende a diminuir nos grãos com o aumento do melhoramento genético do milho. Menores acúmulos de metais como Cu e Zn nas plantas também podem estar associados à baixos teores de matéria seca do DLB aplicado, não sendo o motivo encontrado neste estudo. Possivelmente à retenção pela matéria orgânica do solo (Moreira et al., 2006) tenha sido um motivo para ausência de aumento nas plantas. O fato de que os teores de Zn e Cu no esterco variam com a alimentação animal e com o tratamento nas esterqueiras pode explicar parte destas variações observadas (Motta et al., 2007).

A ausência de efeito da aplicação de esterco sobre os teores de micronutrientes em plantas também foi observado por Kornegay et al. (1976) para Cu e por Ferreira et al., (2003)

para Zn e Cu, estes autores trabalhando com altas concentrações desses micronutrientes em lodo de curtume e resíduo carbonífero.

O Mn tem se mostrado uns dos micronutrientes mais sensíveis a variação do pH e de matéria orgânica do solo (Moreira et al., 2006). O aumento do pH proporcionado pela aplicação de DLB (Motta et al., 2007) pode diminuir o teor de Mn na biomassa aérea (folhas e colmo) do milho (Martins et al., 2003). No entanto, a aplicação de DLB também pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo (Mellek et al. 2010; Morari et al. 2008) e aumentar a disponibilidade de Mn para as plantas. O efeito negativo do aumento do pH contrastando com o efeito positivo do aumento da matéria orgânica pode justificar a ausência de variação do teor de Mn na biomassa aérea do milho (Quadro 8). Porém, conforme discutido por Moreira et al. (2006), o Mn fornecido através da aplicação de DLB, pode estar no solo em forma indisponível às plantas, devido ao fornecimento de grupos carboxílicos, hidroxilas fenólicas e alcoólica, carbonila e a metoxila oriundos da matéria orgânica do solo e do DLB aplicado, formando uma ligação com complexos de esfera interna com a MOS.

CONCLUSÕES

Aplicações sucessivas por 3,5 anos de DLB não aumentaram a produtividade de grãos e de biomassa aérea do milho, em solo de textura franco-argilo-arenosa.

A ordem de concentração de nutrientes na biomassa do milho foi em média de 477, 19,7, 7,9, 2, 0,9 e 0,5, kg de C, K, N, Mg, Ca e P, respectivamente, e 2,7, 19,6, 50,2 e 5,2 g e dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn, respectivamente, para cada tonelada de grãos produzida, embora somente N, P e K aumentaram com o aumento da dose de dejetos líquido bovino.

LITERATURA CITADA

ABEBE, G.; HATTAR, B.; TAWAHA, A. R. M. A.; Nutrient availability as affects by manure application to Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) on Calcarious soils. J. Agric. & Social Sci. 01- 1-1-6, 1813–2235, 2005.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A de.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D e BULL, L. T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. Pesq. Agrop. Brás, Brasília, v. 35, n. 12, 2437 – 2446, 2000.

ASSISTAT 7.5 beta 2010. Disponível em: < <http://www.assistat.com/index.html> >. Acesso em 09 dez. 2010.

AVILA-SEGURA, M.; BARAK, P.; HEDTCKE, J. L.; POWER, J. L. Nutrient and alkalinity removal by corn grain, stover and cob harvest in Upper Midwest USA. *Biomass and Bioenergy*, 35:1190-1195, 2010.

BARCELOS, M; Adubação orgânica e mineral na produção de culturas em rotação sob plantio direto e nas propriedades químicas do solo na região dos Campos Gerais do Paraná. Curitiba – PR, Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná, UFPR, 86p, 2005.

BEAUCHAMP, E. G. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. *J. Soil Science*. 63:377 – 386, 1983.

CERETTA, C. A. BASSO, C. J; PAVINATO, P. S; TRENTIN, E. E; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Ci. Rural*, Santa Maria, 35:1287–1295, 2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004.

CULLEY, J. L. B; PHILLIPS, P. A; HORE, F. R & PATINI, N. K. Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications. *Can. J. Soil Sci.* 61:35–46, 1981.

DORDAS, C. A; LITHOURGIDIS, A. S; MATSI, T; BARBAYIANNIS, N. Application of liquid manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutr Cycl Agroecosyst* 2008, 80: 283-296.

EDWARDS, J.H.; BARBER, S.A. Nitrogen uptake characteristics of corn roots at low N concentration as influenced by plant age. *Agron. J*, Madison, v.68:17-19, 1976.

FANCELLI, A. L. Milho: nutrição e adubação. 2o Ed. Piracicaba: ESAL/USP/LPV, 2008, 204 p.

FERREIRA, C. F. 2009. Diagnóstico nutricional de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos. Dissertação de mestrado em Ciências do Solo da Universidade Federal do Paraná, 114p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. & BISSANI, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtiúme e carbonífero. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:755-763, 2003.

HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solo e plantas. Curitiba, UFPR, 1976, 225p.

HORN, D; ERNANI, P. R; SANGOI, L; SCHWEITZER, C & CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. *R. Bras. Ci. Solo*, 30: 2006, 77- 85.

IBGE, Censo Agropecuário 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009>>. Acessado em 5 de janeiro de 2011.

KARLEN, D.L; SADLER, E.J & CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. *J. Agronomy*, 1987, 79: 649 - 656.

KORNEGAY, E.T.; HEDGES, J.D.; MARTENS, D.C.; and KRAMER, C.Y. Effects on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. *Plant Soil*, 45, 151 – 162, 1976.

LITHOURGIDIS, A. S; MATSI, T; BARBAYIANNIS, N; DORDAS, C.A. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition and soil properties. *Agron.Jl*, 99: 1041 – 1047, 2007.

MANUAL DE ADUBAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. In: RAIJ, B, v.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A, M.C. Campinas, 285p. 1997.

MARTIN, K. L; HODGEN, P.J; FREEMAN, K, W; RICARDO MELCHIORI, D, B; ARNALL, R. K; TEAL, R, W. MULLEN, K; DESTA. S. B; PHILLIPS, J. B; SOLIE, M. L; STONE, OCTAVIO C; SOLARI, F; BIANCHINI, A; FRANCIS, D.D; SHEPERS, J. S, HATFIELD, J. L & RAUN, W. R. Plant – to – plant variability in corn production. *Agron. J*, 2005, 97:1603 – 1611.

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A. & CATARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Zn e Mn pelo milho em solo adubado, com lodo de esgoto com e sem calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:563-574, 2003.

MARTINS, A.P. & REISSMAN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico – analíticos. *Sci. Agraria*, 8:1-17, 2007.

MELLEK, J. E.; DIECKOW. J.; SILVA, V. L. DA.; FAVARETTO, N, PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M.; SOUZA, M, J.L. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil Tillage Re*. 2010.

MORARI, F.; LUGATO, E.; GIARDINI, L. Olsen phosphorus, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution. *Agric, Ecosys, Envir*. 124, p.85–96, 2008.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, C.; NETO, L.M. & PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:121-136, 2006.

MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B.; REISMANN, C.B. & DIONISIO, J.A. Micronutrientes na rocha, solo e na planta. 1º Edição, Curitiba: Edição do Autor, 2007. v.1. 246p.

PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e interpretação. 2 ed. Castro, PR, 2004.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B. M & SANTOS, I.R.dos. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. Sci.Agraria, Curitiba, 9:199-205, 2008.

R. IHAKA, R. & GENTLEMAN, R. R: a language for data analysis and graphics. J. Comp. Graph. Stat., 5:299–314, 1996.

SEAB, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/> Acessado em 05/12/2010.

SILVA, J.C.P da. Esterco líquido de gado de leite e adubação mineral influenciando a produção de silagem e propriedades químicas do solo na região dos Campos gerais do Paraná. Dissertação de mestrado em Ciência do solo, UFPR, 2005.

IBGE, Censo Agropecuário 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009>>. Acessado em 5 de janeiro de 2011.

SILVA, da C. P. M da. Esterco líquido de gado de leite e adubação mineral influenciando a produção de silagem e propriedades químicas do solo na Região dos Campos Gerais do Paraná. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná – Ciência do Solo, Curitiba, 2005.

SILVEIRA, F.M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. & SILVA, E.D.B. Dejetos Líquidos Bovinos em Plantio Direto: Perda de carbono e Nitrogênio em escoamento superficial. Rev. Bras. de Ci. do Solo (Online), 2011.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. SBCS, Viçosa, MG, 215-252, 2006.

SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; KELLY, D.T.; HILL, D.L. Comparison of solid vs. liquid manure applications on corn yield and soil composition. J. Environ. Quality, v. 15, n. 4, p. 370-375, 1986.

VYN, T. J.; TOLLENAAR, M. 1998. Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. Field Crops Res. 59: 135-140.

WONG, J. W. C; MA, K.K; FANG, K.M & CHEUNG, F. C. Utilization of manure compost for organic farming in Hong Kong. Bior. Technology, 67, 1999, 43 -46.