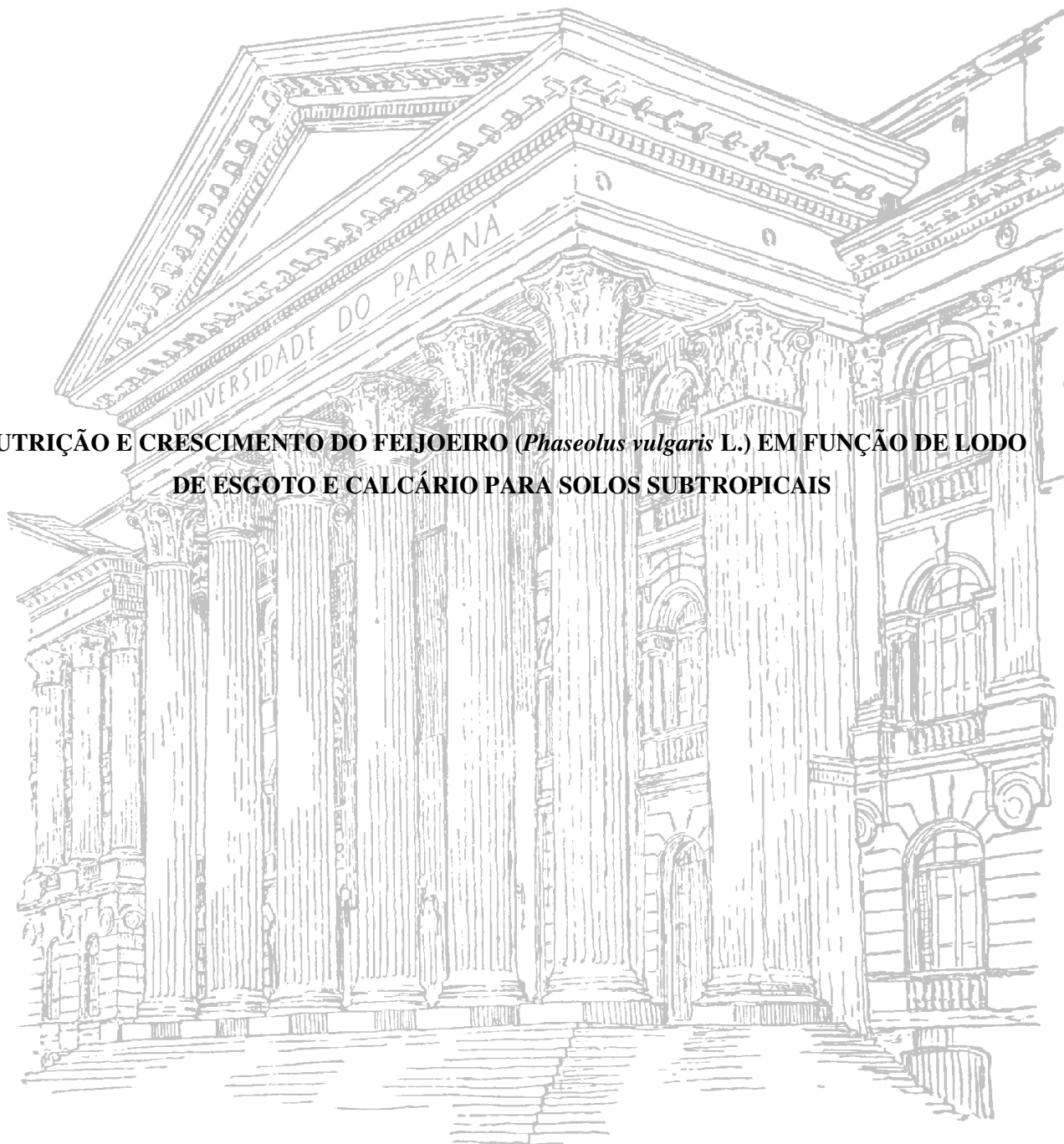


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL RAMOS PONTONI

**NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM FUNÇÃO DE LODO
DE ESGOTO E CALCÁRIO PARA SOLOS SUBTROPICAIS**



CURITIBA

2011

DANIEL RAMOS PONTONI

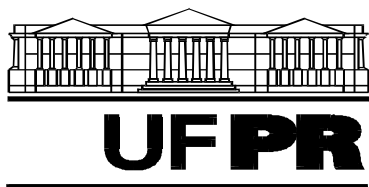
**NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM FUNÇÃO DE LODO
DE ESGOTO E CALCÁRIO PARA SOLOS SUBTROPICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. PhD. Antônio Carlos Vargas Motta
Co-orientador: Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

CURITIBA

2011



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
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: pgcisol@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 pelo candidato **DANIEL RAMOS PONTONI**, sob o título: "**Nutrição e crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de lodo de esgoto e calcário para solos subtropicais**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, 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: "Qualidade e Sustentabilidade Ambiental"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 31 de maio de 2011.

Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta, Presidente

Prof^a. Dr^a. Cyntia Maria Wachowicz, I^o. Examinador

Engenheiro Florestal Dr. Maurício Bergamini Scheer, II^o. Examinador

À Deus, e Seu Filho Jesus, que têm me levado a lugares que nunca imaginei chegar.
Aos meus pais, Marcos e Rosa, meus irmãos, Fabio e Larissa, minha avó Dirce, maiores
incentivadores da minha caminhada, pelo carinho,
compreensão, educação, incentivo e apoio.
À minha namorada Jana, pelo carinho, companhia, incentivo, amizade e valiosa ajuda no
decorrer do mestrado.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade aberta, sustento nas horas difíceis, dando força, inteligência e capacidade quando não havia de onde tirar.

Ao meu orientador, Prof^o Antônio Carlos Vargas Motta, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e fundamental colaboração para o término desta dissertação.

Aos participantes do projeto, Giovana Clarice Poggere, Simone Bittencourt, Cleverson Vitorio Andreoli e, em especial, a Prof^a. Beatriz Monte Serrat, que muito contribuiu com a realização e conclusão deste trabalho.

Aos professores do Programa, principalmente à Prof^a. Nerilde Favaretto, pela oportunidade e conhecimento repassado, assim como Volnei Pauletti e Fabiane Vezani, tirando dúvidas e sempre tendo palavras de incentivo.

Aos membros que participaram da banca, Prof^a. Cyntia Maria Wachowicz (PUCPR), Dr. Maurício Bergamini Scheer (SANEPAR) e Dr. Charles Carneiro (SANEPAR) que tanto puderam contribuir com a finalização deste trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação pelo convívio, amizade e parceria nos estudos, em especial à Jana Daisy Honorato Borgo querida companheira de estudo, trabalhos, laboratórios, coletas, até mesmo em fins de semana e feriados.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Gerson, Marla, Juliane, Aldair, Elda, Roberto, Reginaldo, Maria e Cleusa.

Aos estagiários Luiz e Giovana que ajudaram muito nos trabalhos na casa de vegetação e na árdua rotina de laboratório. Ao Éder, pelos auxílios nas análises estatísticas.

Aos meus amigos e familiares, em especial meus pais, Rosa e Marcos, pelo suporte, força e incentivo.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho, à REUNI, pela concessão da bolsa de estudos e à SANEPAR pelo desenvolvimento do projeto.

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

“Embora ninguém possa voltar e começar do zero outra vez, qualquer um pode começar agora e ter um final inédito”.

Carl Bard

NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM FUNÇÃO DE LODO DE ESGOTO E CALCÁRIO PARA SOLOS SUBTROPICAIS¹

Daniel Ramos Pontoni

Antônio Carlos Vargas Motta

Beatriz Monte Serrat

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a equivalência das quantidades de calcário e de lodo de esgoto alcalinizado no crescimento e nutrição da cultura do feijoeiro, em casa de vegetação, em solo e lodo provenientes de três regiões do Estado do Paraná. Os solos e lodos, sem tratamento, foram coletados em regiões distintas: LVd arenoso (arenito), LVd muito argiloso (basalto) e o LBw argiloso (argilito). Os lodos foram alcalinizados utilizando-se a mesma fonte de óxido de Ca e Mg. Os tratamentos foram dois corretivos (lodo alcalinizado e calcário) e cinco doses, equivalentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da dose necessária para atingir o pH 5,5 obtida pelo método da incubação. Aos 67 dias após a emergência avaliou-se a altura, a matéria seca (MS) das raízes e da parte aérea e teores de C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn da parte aérea. O efeito do calcário sobre a produção de MS da parte aérea e raiz ficou restrita ao solo muito argiloso, enquanto que o lodo alcalinizado atuou sobre a planta cultivada em solo argiloso e muito argiloso, acompanhando a textura e m%. O lodo alcalinizado mostrou-se superior ao calcário, pois propiciou maiores teores de Zn e de P na MS das plantas, nos solos argilosos. A aplicação dos corretivos reduziu os teores de K e Mn na planta. Quando houve efeito, o lodo alcalinizado mostrou-se superior ao calcário no crescimento e nutrição do feijoeiro.

Palavras-chave: Acidez. Calagem. Biossólidos. Ciclagem de nutrientes.

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. (39 p.) Julho, 2011.

NUTRITION AND GROWTH OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) DUE TO SEWAGE SLUDGE AND LIME IN SOME SUBTROPICAL SOILS²

Daniel Ramos Pontoni

Antônio Carlos Vargas Motta

Beatriz Monte Serrat

ABSTRACT

The aim of this study was to verify the equivalence of the quantities of lime and sewage sludge, as indicated by the method of incubation to reach the same pH, growth and nutrition of bean in a greenhouse in soil and sludge from three regions of Paraná State. The soils and sludges, untreated, were collected in different regions: sandy LVd (sandstone), LVd clayey (basalt) and LBw clay (claystone). The sludge was alkaline using the same source of calcium and magnesium oxide. Treatments were two lime (sludge with lime and limestone) and five rates, 0, 50, 100, 150 and 200% of the rates required to achieve pH 5,5. At 67 days after emergence was assessed height, dry weight (DW) of roots and shoots and concentrations of C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn and Zn. The effect of lime on the dry matter production of shoot and root was restricted to very loamy soil, while the alkaline sludge acted on the plant cultivated in clayey soil and very clayey, following the texture and aluminum saturation. The alkaline sludge was superior to lime, which provided higher levels of Zn and P in DW, in clayey soils. Application of lime reduced the concentrations of K and Mn in the plant. When there was effect of acidity corrective, the alkaline sludge was superior to lime on growth and nutrition of beans.

Keywords: Acidity. Liming. Biosolids. Nutrient cycling.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (39 p.) July, 2011.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribuição dos blocos na casa de vegetação.....15
- Figura 2. Avaliações morfológicas aos 67 DAE (estádio R9) nas plantas de feijão em função da aplicação de doses (%) de lodo alcalinizado (A) e calcário (B) para o LVd muito argiloso, lodo alcalinizado (C) e calcário (D) para o LVd arenoso e lodo alcalinizado (E) e calcário (F) para o LBw argiloso.....18
- Figura 3. Produtividade de MS (g) de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (A), LBw argiloso (C) e LVd arenoso (E). Altura de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (B), LBw argiloso (D) e LVd arenoso (F).....21
- Figura 4. Análise de regressão para produção de MS (g) de raízes de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (A), LBw argiloso (C) e LVd arenoso (E). Análise de regressão para volume de raízes (cm³) de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (B), LBw argiloso (D) e LVd arenoso (F).....23
- Figura 5. Sintomas de toxidez de Mn associados à sintomas de deficiência de Fe em solo arenoso sem adição de lodo alcalinizado e calcário (testemunha).....29
- Figura 6. Análise de componentes principais (ACP) usando como variáveis de resposta (dependentes) os dados de teores de nutrientes da parte aérea e produção de matéria seca (MS), em Latossolo Vermelho distroférico (LVd muito argiloso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (A); em Latossolo Bruno Ácrico (LBw argiloso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (B); e em Latossolo Vermelho distrófico (LVd arenoso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (C). CP: componente principal; 0, 50, 100, 150 e 200: doses de lodo e calcário, equivalentes em %; Ca: cálcio; Mg.: Magnésio; P: fósforo; Cu: cobre; Zn: zinco; Mn: manganês; N: nitrogênio; C: carbono; K: potássio; Fe: ferro; MS: matéria seca da parte aérea; MS raiz: matéria seca de raiz; Vol raiz: volume de raiz; Alt: altura de plantas.....30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Atributos químicos e físicos de três solos Paranaenses utilizados no processo de correção da acidez.....	14
Quadro 2. Doses de lodo alcalinizado e de calcário aplicadas nos três solos utilizados, obtidas através da curva de elevação de pH de cada solo.....	16
Quadro 3. Características dos lodos brutos desaguados e alcalinizados de cada região, da cal e do calcário utilizados no experimento.....	17
Quadro 4. Teores totais de macro e micronutrientes presentes nos lodos de Pato Branco, Pinhais e Umuarama, utilizados nos solos da mesma região.....	17
Quadro 5. Adubação de base e cobertura utilizadas nos três solos avaliados para o cultivo do feijão.....	17
Quadro 6. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LVd muito argiloso.....	24
Quadro 7. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LVd arenoso.....	26
Quadro 8. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LBw argiloso.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
	2.1 Amostragem e propriedades do solo.....	14
	2.2 Desenvolvimento vegetativo	15
	2.3 Avaliações morfológicas do feijoeiro.....	18
	2.4 Avaliações nutricionais da parte aérea	19
	2.5 Análise estatística	19
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
	3.1 MS e altura da parte aérea, MS e volume de raiz das plantas de feijão.....	20
	3.2 Teores nutricionais no tecido vegetal	23
	3.3 Análise de componentes principais	29
4	CONCLUSÕES	31
5	REFERÊNCIAS	31
6	APÊNDICE	36

1 INTRODUÇÃO

Acidez do solo e a baixa fertilidade são os principais fatores limitantes à produção agrícola. Em termos globais, estima-se que cerca de 70% dos solos agricultáveis do mundo são ácidos (Rengel, 2003), destes 60% encontram-se nas regiões tropicais e subtropicais (Sumner & Noble, 2003; Kochian et al., 2004). Na América do Sul, os solos ácidos ocupam cerca de 52 % do território limitando grande parte destas áreas (Sumner & Noble, 2003).

O principal efeito negativo ao crescimento das plantas, proporcionado pela elevada acidez, é a toxidez de alumínio normalmente medida pelo teor de Al^{+3} trocável (Menzies, 2003). Contudo, a percentagem de Al na CTC efetiva, saturação de alumínio (m %), tem expressado melhor o efeito tóxico sobre as plantas e tem obtido melhor correlação com a produtividade (Schroeder et al., 1995). O excesso de Al^{+3} na planta interfere no crescimento, estrutura, metabolismo das raízes e na absorção, transporte e uso de vários nutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro (Foy, 1984).

Além do Al, a elevada acidez pode disponibilizar grande quantidade de Mn^{+2} e Fe^{+2} (Kochian et al., 2004; Motta et al., 2007) que podem levar a uma condição de toxidez e comprometer o desenvolvimento vegetal. Contudo, algumas plantas são adaptadas aos ambientes ácidos e toleram (Kohno & Foy, 1983a e 1983b, Foy, 1984) ou mesmo exigem elevado nível destes elementos (Reissmann & Carneiro, 2004). Seleção de cultivares em condição de elevada acidez podem também auxiliar na escolha de plantas resistentes a elevados níveis de Al^{+3} e Mn^{+2} (Khono & Foy, 1983; Fageria and Baligar, 2003).

Associados a elevada acidez dos solos tropicais, em geral, verificam-se baixos níveis de P (Kochian et al., 2004; Yang et al., 2011), Ca e Mg decorrentes do processo de intemperismo (Meurer, 2006). Estes solos apresentam ainda elevada capacidade de adsorção de P via esfera interna com óxidos de Fe e Al (Meurer, 2006; Yang et al., 2011), agravando as condições limitantes ao desenvolvimento vegetal em ambientes ácidos.

A calagem é a prática mais eficiente para a adequação da acidez a níveis compatíveis ao melhor crescimento das plantas que se deseja cultivar, sendo o calcário o corretivo de solo mais utilizado na agricultura brasileira (Caires et al., 2002). Contudo, o uso excessivo desse corretivo pode propiciar aumento do pH acima do desejado e limitar a disponibilidade de micronutrientes, principalmente Mn e Fe (Motta et al., 2007). Além disso, pode alterar a relação Ca+Mg/ K do solo (Oliveira et al., 2001; Lima et al., 2001), reduzindo a absorção e teor foliar de K pelas plantas

(Caires et al., 2002). No entanto, este fato nem sempre é observado (Faquin et al., 1998; Prado et al., 2004).

Calcários com elevado grau de impureza e resíduos com elevada capacidade de correção, como escórias, têm sido testados com resultados similares (Wutke et al., 1962), ou com melhor efeito do resíduo em termos de crescimento vegetal (Prado et al., 2003). O efeito do uso de resíduos no crescimento das plantas é mais complexo do que o calcário, uma vez que quantidades significativas de macro, micronutrientes ou elementos úteis podem ser adicionadas (Wong & Swift, 2003). Além disso, ocorre a adição de compostos orgânicos que podem afetar a disponibilidade de outros nutrientes.

Atualmente utilizado em pequena escala na agricultura, mas com elevado potencial de uso, o lodo de esgoto alcalinizado vem apresentando resultados positivos em cultivos em diversas condições (Adjei & Rechcigl, 2002; Barbosa et al., 2007; Tamanini et al., 2008), aumentando a disponibilidade de K, N, Mg, Cu e Zn para as plantas (Chueiri et al., 2007). Contudo, o uso de doses elevadas de lodo alcalinizado em solos sem Al tóxico pode diminuir o crescimento de plantas em função de limitação da absorção de Mn (Chueiri et al., 2007). Além disso, a variação de resposta ao uso de lodo alcalinizado em função da textura do solo não está clara na literatura, fato já verificado com uso de calcário (Andreotti et al., 2000; Fageria and Baligar, 2003).

A expansão do saneamento, em função da concentração populacional em centros urbanos, levará em todo mundo um crescimento na geração de lodo de esgoto, principalmente na forma neutralizada com produtos alcalinizantes, a fim de diminuir a quantidade de agentes patogênicos (Andreoli et al., 1999), seguindo recomendação da Resolução CONAMA 375/2006 (Brasil, 2006). Diante da possibilidade do uso de inúmeros materiais alcalinizantes, faz-se necessário o estudo comparativo destes corretivos sobre a nutrição de cultivos agrícolas.

O presente estudo teve o objetivo de verificar a equivalência das quantidades de calcário e de lodo de esgoto alcalinizado, indicadas pelo método da incubação para atingir um mesmo pH, no crescimento e nutrição da cultura do feijoeiro, em solo e lodo provenientes de três regiões geologicamente distintas do Estado do Paraná.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem e propriedades do solo

Três tipos de solos de importância agrícola do Estado do Paraná foram selecionados nos municípios de Umuarama, Pato Branco e Pinhais. Foram coletados em área de vegetação secundária nas três localidades, à profundidade de 0-20 cm (horizonte A) e transportados para casa de vegetação do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, localizado no Setor de Ciências Agrárias (SCA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba (PR). Os solos foram amostrados para análise química no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR e análises físicas (granulométricas e de umidade do solo) realizadas no Laboratório de Física do Solo da UFPR (Quadro 1).

Quadro 1. Atributos químicos e físicos de três solos Paranaenses utilizados no processo de correção da acidez, n=3.

pH	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CTC	P	C	V	m	Cu	Mn	Fe	Zn	Argila	
CaCl ₂	SMP	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	%		----- mg kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹	
Pato Branco - Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso (LVd)																
3,9	4,6	2,9	14,1	0,5	0,1	0,14	14,84	1,3	46,9	5	80	2,8	23,2	46,0	7,4	850
Pinhais - Latossolo Bruno Ácrico argiloso (LBw)																
4,0	4,7	3,7	15,8	3,1	1,6	0,09	20,59	1,3	65,4	23	44	0,8	24,7	70,3	12,5	650
Umuarama - Latossolo Vermelho distrófico arenoso (LVd)																
4,1	5,8	0,7	5,8	1,2	0,4	0,13	7,53	3,1	13,3	23	29	0,5	72,0	43,6	1,7	200

CTC = Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; C = carbono orgânico total; V = saturação por bases; P = P extraído por Mehlich I; n = número de repetições.

No município de Umuarama, o solo foi coletado no Campus da Universidade Estadual de Maringá, nas coordenadas 7.366.221 N e 270.414 E, e caracteriza-se como Latossolo Vermelho distrófico arenoso (LVd arenoso), Formação Caiuá, Grupo Bauru (arenito), sendo o clima da região do tipo Cfa segundo a classificação climática de Koppen. No município de Pato Branco, o solo foi coletado na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), sob coordenadas 7.110.250 N e 334.260 E, e caracteriza-se como Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso (LVd muito argiloso), geologia caracterizada pela Formação Serra Geral, Grupo São Bento (basalto). O solo do município de Pinhais foi coletado na Fazenda Experimental do Canguiri da UFPR, e caracteriza-se como Latossolo Bruno Ácrico argiloso (LBw argiloso), material de origem da Formação Guabirotuba (argilito), sob coordenadas 7.190.979 N e 687.492 E, sendo o clima da região dos municípios de Pinhais e Pato Branco do tipo Cfb segundo a classificação climática de Koppen.

2.2 Desenvolvimento vegetativo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação de vidro do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, localizado no SCA, da UFPR, em Curitiba (PR) (Figura 1). Os solos utilizados foram secos ao ar, peneirados em peneira 4 mm e acondicionados em vasos de 2,3 dm³ que constituíram as unidades experimentais.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com três repetições em esquema fatorial 2x5 para cada solo, sendo dois corretivos (lodo alcalinizado e calcário). Para cada solo foram utilizados 30 vasos, que receberam como fonte de corretivo calcário e lodo alcalinizado equivalentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da dose necessária para elevar o pH a 5,5 aos 60 dias (Quadro 2), obtida através da curva de elevação de pH para esses solos (Pontoni et al., 2010), totalizando 10 tratamentos por solo.



Figura 1. Distribuição dos blocos na casa de vegetação.

Utilizou-se três lotes de lodo bruto desaguado resultantes de tratamento anaeróbico de esgoto, originários de estações de tratamento de esgotos (ETE's) dos municípios de Umuarama, Pato Branco e de Almirante Tamandaré (Região Metropolitana de Curitiba). Após as coletas, foram determinados os sólidos totais (ST), sendo em seguida alcalinizado em laboratório pelo processo de estabilização alcalina prolongada (EAP). Este processo consiste na incorporação de cal na proporção de 50% da massa de sólidos totais no lodo úmido, com posterior período de cura de trinta dias mantendo-se a umidade. O Quadro 3 apresenta as características dos materiais utilizados

quanto ao poder de correção de pH. O poder de neutralização (PN) foi determinado com base na metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995). O PN do lodo alcalinizado foi determinado através da mesma metodologia, utilizando-se 2 g de material seco e moído. O Quadro 4 apresenta a concentração de nutrientes, conforme metodologia descrita por Martins & Reissmann (2007).

Quadro 2. Doses de lodo alcalinizado e de calcário aplicadas nos três solos utilizados, obtidas através da curva de elevação de pH de cada solo.

Dose	LVd arenoso (Umuarama)		LVd muito argiloso (Pato Branco)		LBw argiloso (Pinhais)	
	Lodo	Calcário	Lodo	Calcário	Lodo	Calcário
-- % --	----- t ha ⁻¹ -----					
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	3,20	1,56	17,43	5,39	18,15	6,20
100	6,40	3,12	34,86	10,77	36,29	12,40
150	9,60	4,68	52,29	16,16	54,44	18,60
200	12,80	6,24	69,72	21,56	72,60	24,80

A cultura escolhida para o cultivo em vasos foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar IPR Tiziu, por tratar-se de espécie de importância agrícola e econômica para as regiões de onde foram coletados os solos. Na ocasião da semeadura em 26 de janeiro de 2010 foi realizada a adubação de base (Quadro 5), com nitrato de potássio, fosfato de sódio monobásico monohidratado, fosfato de potássio diabásico anidro e, na adubação de cobertura uréia, conforme recomendação do Estado do Paraná (IAPAR, 2003), de acordo com análise química dos solos (Quadro 1). Foram semeadas 7 sementes por vaso e 5 dias após a emergência (DAE) realizou-se o raleio permanecendo 2 plantas por vaso. As regas ocorreram diariamente com água deionizada mantendo-se 80% da capacidade de campo. Conforme o desenvolvimento as plantas foram tutoradas. Todas as folhas e flores senescentes foram coletadas para posteriores avaliações fitotécnicas e nutricionais. Aos 67 DAE, estágio R9 de desenvolvimento (uma vagem com coloração modificada em 50% das plantas), as plantas inteiras de feijão foram colhidas, cortando-se o caule na altura de um cm acima do solo.

Quadro 3. Características dos lodos brutos desaguados e alcalinizados de cada região, da cal e do calcário utilizados no experimento.

Lodo Bruto Desaguado	Fonte do Lodo de Esgoto		
	Pato Branco	Pinhais	Umuarama
ST ¹ (%)	42	36,41	83,86
pH	4,89	6,81	5,7
Idade (dias)	92	54	19
Lodo Caleado a 50% ST			
pH	9,49	9,7	11,24
PN ² (% Eq. CaCO ₃)	31	29,4	39,13
	Cal	Calcário	
pH	12,3	9,5	
PN ² (% Eq. CaCO ₃)	124	101,8	
PRNT ³ (%)	105,1	101,3	

¹ST = Sólidos totais; ²PN = Poder de neutralização; ³PRNT = Poder relativo de neutralização total.

Quadro 4. Teores totais de macro e micronutrientes presentes nos lodos de Pato Branco, Pinhais e Umuarama, utilizados nos solos da mesma região.

	Lodo de Esgoto Alcalinizado		
	Pato Branco	Pinhais	Umuarama
Macronutrientes (g kg⁻¹)			
Carbono	145	113	152
Nitrogênio	14,0	8,8	12,4
Fósforo	2,6	1,5	1,8
Potássio	1,3	0,8	0,9
Cálcio	49,0	54,4	63,9
Magnésio	28,0	31,2	34,1
Micronutrientes (mg kg⁻¹)			
Cobre	80	112	112
Ferro	8038	8560	5498
Manganês	123	124	135
Zinco	168	84	113

Quadro 5. Adubação de base e cobertura utilizadas nos três solos avaliados para o cultivo do feijão.

		Adubação de base			Adubação de cobertura*
		(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
PB	LVd muito argiloso	15	70	30	60
PIN	LBw argiloso	15	80	40	60
UMU	LVd arenoso	15	70	30	60

* adubação de cobertura 20 dias após plantio.

2.3 Avaliações morfológicas do feijoeiro

Ao final do experimento, foram realizadas avaliações da altura e matéria seca (MS), através do corte das plantas a aproximadamente um cm do solo, aos 67 dias DAE (Figura 2). As plantas foram levadas para estufa, à temperatura de 65°C até peso constante, para posterior pesagem e determinação da MS.

As raízes, depois de separadas do solo, foram lavadas em água corrente e secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até atingirem peso constante. Para a variável volume de raiz (cm³), as amostras, após secas, foram reidratadas em água por 48 horas, separadas e submetidas à leitura no scanner WinRhiso.

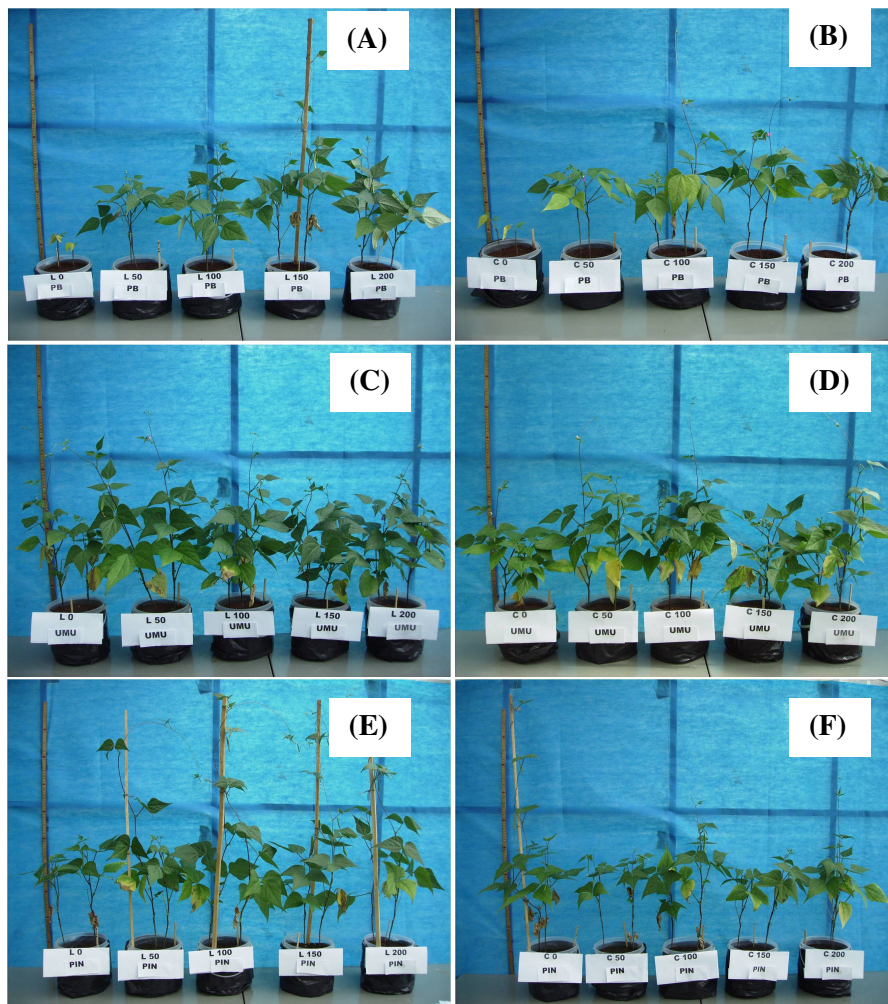


Figura 2. Avaliações morfológicas aos 67 DAE (estádio R9) nas plantas de feijão em função da aplicação de doses (%) de lodo alcalinizado (A) e calcário (B) para o LVd muito argiloso, lodo alcalinizado (C) e calcário (D) para o LVd arenoso e lodo alcalinizado (E) e calcário (F) para o LBw argiloso.

2.4 Avaliações nutricionais da parte aérea

A avaliação de nutrientes minerais do feijoeiro foi realizada através da moagem da parte aérea das duas plantas por vaso em moinho tipo “Wiley”, e pesagem de aproximadamente 1g para determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), através de digestão via seca, seguindo o princípio da queima da matéria orgânica (MO). Para tanto, o material foi incinerado em mufla a 500 °C por 3 horas, posteriormente foram adicionadas 3 gotas de HCl 3 mol L⁻¹ e novamente incinerado em mufla a 500 °C por 3 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 2 horas. O K foi determinado por fotometria de emissão e os elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica com chama (Martins & Reissmann, 2007).

As análises do nitrogênio (N-total) e carbono (C-total) foram efetuadas por digestão via-seca, por meio do aparelho VARIO EL III - Elementar®.

Para obter a quantidade extraída pela parte aérea, o teor de cada nutriente no tecido vegetal foi multiplicado pela MS da parte aérea.

2.5 Análise estatística

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. Os parâmetros morfológicos e de nutrição das plantas foram submetidas à análise de correlação de Pearson pelo programa estatístico R (Ihaka & Gentleman, 1996).

Os dados de teores nutricionais e produção de MS avaliados neste trabalho foram submetidos à análise multivariada, através da determinação dos componentes principais. Esta análise teve como objetivo explorar agrupamentos, fatores principais responsáveis pela variabilidade dos dados e comparar doses e nutrição, em cada área. As análises multivariadas foram realizadas utilizando o programa CANOCO versão 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MS e altura da parte aérea, MS e volume de raiz das plantas de feijão

O efeito do uso de cada lodo alcalinizado e do calcário na produção de MS variou entre os solos utilizados. O solo de textura arenosa (LVd arenoso) não apresentou resposta ao uso de calcário e lodo alcalinizado, o oposto sendo observado para o LVd muito argiloso. Já para o LBw argiloso a resposta da MS foi restrita ao uso de lodo alcalinizado (Figura 3). A resposta distinta ocorreu mesmo quando os solos apresentavam pH muito próximos. Assim, outros atributos do solo podem ter contribuído, uma vez que há grande diferença na textura, teor de matéria orgânica, saturação por bases e m%, em função dos diferentes materiais de origem dos solos utilizados.

A maior resposta de M.S para o solo LVd muito argiloso, pode ser explicada pelo baixo valor de V%, maior valor de m% e pelos menores teores de Ca e Mg, comparativamente aos demais solos (Quadro 1). Menor produtividade do feijão na testemunha do LVd muito argiloso comparativamente aos demais solos indica que o grau de limitação imposta pelo m% era elevado, mesmo com a adubação.

A pequena resposta da planta ao uso de lodo alcalinizado e ausência ao calcário para solo com elevada acidez (baixo pH e elevado teor de Al) como o LBw argiloso (Figura 3 C), pode estar associada ao elevado valor de MO, Ca e Mg trocáveis deste solo (Quadro1). Tais parâmetros têm sido indicados como fatores importantes na amenização da toxidez de Al (Wong & Shift, 2003).

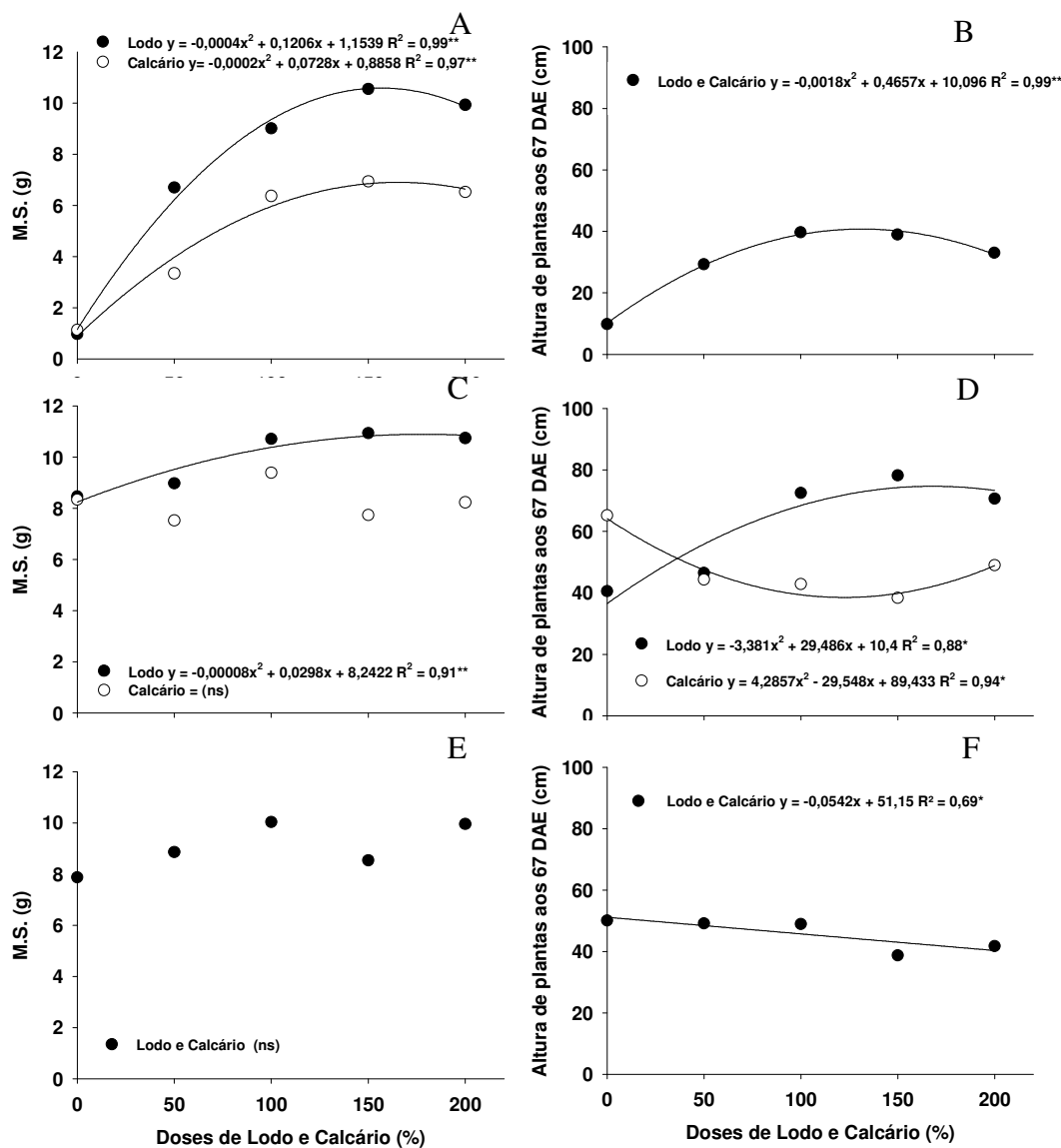


Figura 3. Produtividade de MS (g) de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o Lvd muito argiloso (A), LBw argiloso (C) e Lvd arenoso (E). Altura de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o Lvd muito argiloso (B), LBw argiloso (D) e Lvd arenoso (F).

Ausência de resposta tanto ao uso de calcário quanto de lodo alcalinizado para o Lvd arenoso não era esperada, visto que o solo mostrava-se ácido (Figura 3 E). O menor valor de m% entre os três solos utilizados e valores intermediários de Ca e Mg, podem ter influenciado o comportamento observado. A alta produtividade na testemunha, superior ao Lvd muito argiloso indica que as condições iniciais do solo foram melhores para o crescimento da planta, apesar de valores de pH próximos entre os solos utilizados.

A resposta da MS ao uso de lodo alcalinizado e calcário para os três solos sugerem que o m% foi o fator que melhor representou a resposta do feijoeiro, comprovando que o Al^{+3} é o elemento mais tóxico ao desenvolvimento vegetal (Foy, 1984), uma vez que indica um balanço entre teor de Al tóxico e o teor de bases. Ainda, segundo o mesmo autor, o m% é um parâmetro tão eficiente quanto o Al^{+3} disponível para avaliar a acidez. Já Schroeder et al. (1995) observaram elevada correlação entre a m% e produção, sugerindo este parâmetro como importante indicador de acidez em relação ao Al^{+3} disponível.

A resposta do feijão ao uso de corretivo tem se mostrado variável, concordando com os resultados observados no presente trabalho. Fageria (2001) não observou diferença entre doses de calcário na produção de MS nos estádios finais de desenvolvimento do feijoeiro em solo arenoso e ácido, com baixo m%. Entretanto, Silva et al. (2007) encontraram aumento na produção de MS da parte aérea de feijão em solo arenoso e muito ácido com a aplicação de calcário.

A dose de máxima eficiência técnica de lodo alcalinizado calculadas foram de 54 t ha^{-1} (equivalente a 151%) e 68 t ha^{-1} (equivalente a 186%) para o LVd muito argiloso e LBw argiloso, respectivamente. Para o calcário, a dose calculada foi de 18 t ha^{-1} (equivalente a 182%) para o LVd muito argiloso. Portanto, estes dados demonstram que a dose ideal de lodo alcalinizado calculada (dose de 100%) não foi suficiente para a máxima produção de MS nos solos avaliados e para o calcário, apenas para o LBw argiloso a dose ideal ficou abaixo da dose ideal calculada antes do cultivo (dose de 100%) para atingir pH $CaCl_2$ 5,5.

Os parâmetros radiculares de crescimento (volume e MS) acompanharam o efeito do crescimento da parte aérea, confirmando o efeito da acidez sobre o crescimento das raízes (Figura 3 e Figura 4). O crescimento em altura das plantas de feijão também variou nos três solos (Figura 3 B, 3 D e 3 F). Para o LVd muito argiloso houve pequeno incremento em altura, porém grande em MS. Para o LBw argiloso houve grande incremento em altura e pequeno em MS. Já para o solo arenoso, a adição de corretivos promoveu pequeno decréscimo em altura e incremento em MS nas plantas (Figura 3 E e 3 F).

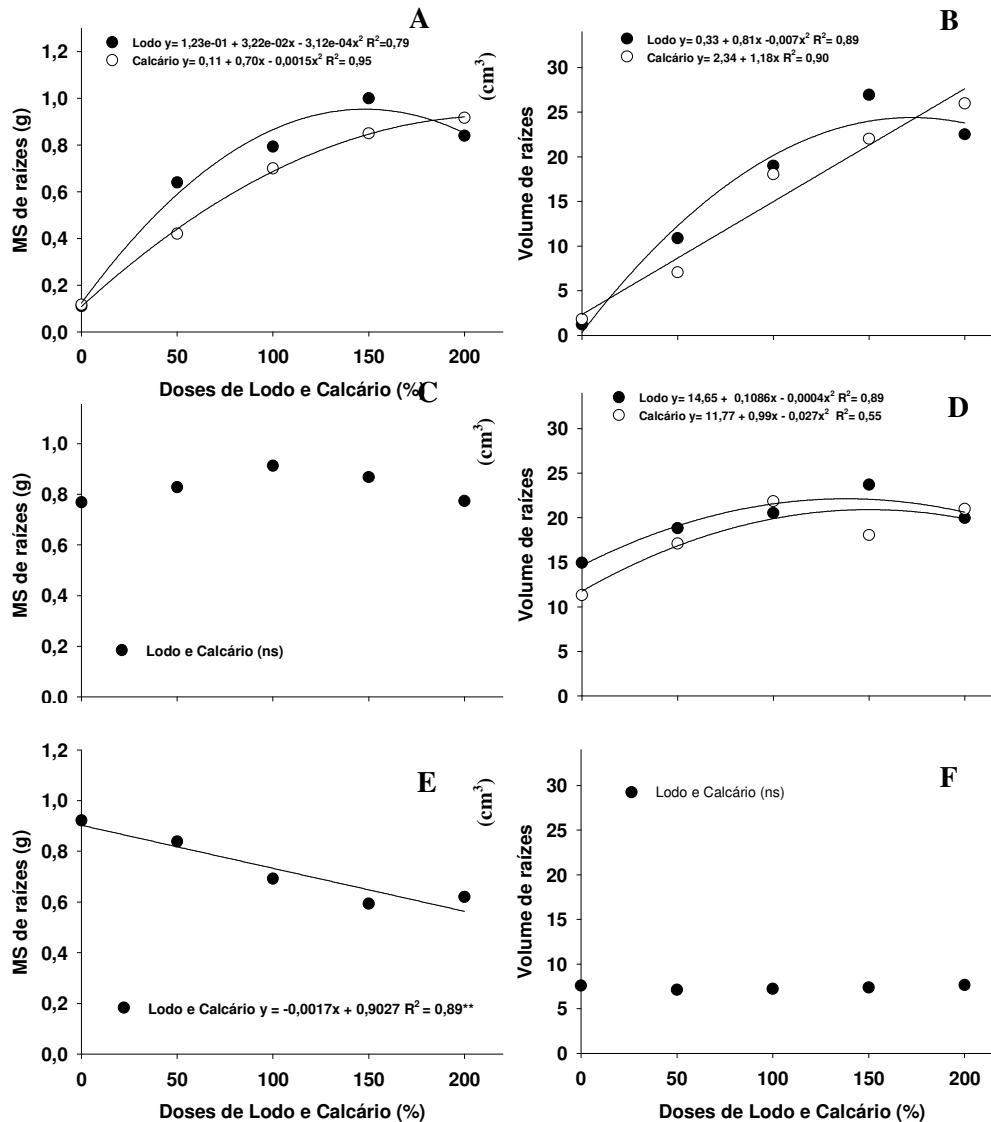


Figura 4. Análise de regressão para produção de MS (g) de raízes de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (A), LBw argiloso (C) e LVd arenoso (E). Análise de regressão para volume de raízes (cm³) de plantas de feijão em função da aplicação de doses de lodo alcalinizado e calcário (%) para o LVd muito argiloso (B), LBw argiloso (D) e LVd arenoso (F).

3.2 Teores nutricionais no tecido vegetal

O elevado valor de m% do LVd muito argiloso (Quadro 1) provavelmente seja a responsável pelo baixo nível de P no tecido vegetal na testemunha (Quadro 6), uma vez que foi aplicado P na adubação de base em todos os tratamentos. Altos valores de m% comprometeram o crescimento radicular afetando a absorção, translocação e eficiência do P na planta.

Ao contrário do solo LVd muito argiloso, os teores de P no tecido das plantas cultivadas no LVd arenoso apresentavam níveis altos já na testemunha (Quadro 7), dado provavelmente ao maior crescimento radicular neste solo que apresentava menor m% em relação aos solos argilosos. Os teores de P nas plantas no LBw argiloso, apresentaram ligeiro decréscimo com o aumento das doses em relação à testemunha, com ambos os corretivos.

Quadro 6. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LVd muito argiloso.

DOSE (%)	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Lodo Alcalinizado 0	411,9 (±0,49)	63,0 (±0,62)	1,04 (±0,00)	21,4 (±0,00)	5,65 (±0,00)	2,14 (±0,00)	689 (±0,00)	788 (±0,00)	7,8 (±0,00)	28,3 (±0,00)
Lodo Alcalinizado 50	409,8 (±0,44)	36,7 (±0,53)	1,74 (±0,10)	16,7 (±0,44)	8,85 (±0,33)	2,62 (±0,19)	122 (±1,30)	103 (±1,40)	6,3 (±0,25)	22,8 (±0,59)
Lodo Alcalinizado 100	407,1 (±0,81)	34,9 (±0,45)	1,44 (±0,15)	15,2 (±0,41)	9,14 (±0,37)	2,73 (±0,17)	218 (±2,40)	68 (±1,07)	6,6 (±0,26)	28,6 (±0,38)
Lodo Alcalinizado 150	407,2 (±0,52)	32,9 (±0,60)	1,37 (±0,19)	12,3 (±0,35)	8,58 (±0,29)	2,68 (±0,18)	170 (±2,29)	39 (±1,49)	6,6 (±0,23)	29,9 (±0,69)
Lodo Alcalinizado 200	405,9 (±0,43)	34,0 (±0,49)	1,11 (±0,21)	10,4 (±0,57)	10,40 (±0,28)	3,35 (±0,15)	82 (±1,38)	15 (±0,65)	5,1 (±0,36)	29,6 (±1,07)
Calcário 0	397,3 (±0,98)	53,2 (±1,13)	0,55 (±0,00)	28,7 (±0,00)	10,65 (±0,00)	2,25 (±0,00)	1050 (±0,00)	502 (±0,00)	5,0 (±0,00)	32,4 (±0,00)
Calcário 50	414,2 (±1,01)	39,8 (±0,49)	1,63 (±0,19)	18,8 (±0,64)	7,37 (±0,15)	2,35 (±0,04)	175 (±2,37)	106 (±3,06)	5,8 (±0,29)	17,7 (±0,82)
Calcário 100	412,9 (±0,90)	37,7 (±0,56)	1,62 (±0,20)	14,1 (±0,55)	8,81 (±0,23)	2,62 (±0,12)	155 (±1,92)	67 (±2,10)	6,0 (±0,24)	16,8 (±0,32)
Calcário 150	413,7 (±0,44)	36,9 (±0,36)	1,44 (±0,13)	15,0 (±0,12)	9,01 (±0,32)	2,75 (±0,12)	487 (±5,87)	52 (±1,77)	6,5 (±0,26)	16,5 (±0,40)
Calcário 200	415,0 (±0,88)	37,2 (±0,39)	1,38 (±0,13)	15,6 (±0,67)	8,28 (±0,22)	2,60 (±0,11)	429 (±7,01)	64 (±2,65)	6,7 (±0,27)	15,3 (±0,60)
Efeito Lodo Alcalinizado	L*	-	Q**	-	L**	L**	-	Q**	L**	ns
Efeito Calcário	L*	-	Q**	-	Q**	Q*	-	Q**	L**	Q**
Interação Corretivos x Doses	*	ns	*	ns	**	**	ns	**	**	**
Efeito médio Lodo										
Alcalinizado e Calcário	-	Q**	-	Q*	-	-	Q**	-	-	-

* Pvalor < 0,05; ** Pvalor < 0,01; ns = não significativo; Q = efeito quadrático; L = efeito linear; () = erro padrão.

Marschner (1995) constatou que elevados teores de Al no solo podem precipitar o P na superfície da raiz e no espaço livre aparente, reduzindo a translocação e suprimento de P. Isto pode ter contribuído com os menores teores deste nutriente na parte aérea das plantas nos solos argilosos com maior m% em relação ao arenoso, sob condição ácida (testemunha) no presente estudo. Esta interação entre Al e P formando precipitados no sistema radicular vem sendo relatado em ambientes ácidos (Foy, 1984). Camargo (1985) e Yang et al. (2011) observaram que, ainda que por um lado o P é indisponibilizado pela formação de precipitados, por outro lado o Al tem seu efeito tóxico amenizado em função da formação destas interações com a adição de P.

Além do m%, a textura pode ter influenciado a resposta do feijão, uma vez que o teor de argila apresentou uma relação inversa com teor de P na planta, com maior absorção de P pelas plantas de feijão no solo arenoso, seguido pelo argiloso e menor no solo muito argiloso (Apêndice 1). O teor de argila vem sendo associado à capacidade de fixação de P e disponibilização do P aplicado como fertilizante (Lopes & Cox, 1979; Corrêa et al., 2011). Assim, a maior disponibilidade de P no LVd arenoso pode ter contribuído para a amenização da toxidez de Al e menor resposta a aplicação de corretivos.

Os níveis altos de Fe e Mn observados nas plantas cultivadas no tratamento testemunha no LVd muito argiloso indicam sua alta disponibilidade dos mesmos em condição de elevada acidez. Entretanto, os resultados não mostram carência de Zn e Cu, indicando altos níveis destes elementos, fato comum aos solos originados de basalto, como o solo em questão (Motta et al., 2007).

A manutenção dos teores de Zn e uma grande redução drástica dos teores de Mn com o aumento das doses de lodo alcalinizado na planta, provavelmente tenham sido responsáveis pelo comportamento quadrático na produção de MS no LVd muito argiloso. Foi observado que na maior dose de lodo alcalinizado os teores de Mn no tecido vegetal ficaram abaixo do considerado ótimo, tendo efeito negativo na produção de MS (dose de 200%). Já para os tratamentos com adição de calcário o decréscimo de Fe e Mn, especialmente nas primeiras doses, associado ao aumento de bases, contribuíram para o aumento da MS. Contudo, com as maiores doses de calcário houve um aumento nos teores de Fe nas plantas, indicando desequilíbrio nutricional nas maiores doses.

Em contraste ao LVd muito argiloso, não foi observada grande variação nos teores nutricionais com a adição de lodo alcalinizado e calcário para o LVd arenoso (Quadro 7), acompanhando o que foi observado com produção de matéria seca. Verificou-se que os teores nutricionais, com exceção do Mn, estavam equilibrados já na testemunha, indicando pequeno efeito da acidez deste solo no crescimento das plantas de feijão. Contudo, mesmo o Mn apresentando teores tóxicos e ter sido observado sintomas de toxidez na testemunha, este efeito não foi suficiente para causar decréscimo na produção de MS da parte aérea.

Os teores de Zn foram adequados tanto com adição de lodo alcalinizado quanto de calcário para o LVd arenoso, mesmo este solo possuindo menores teores do elemento. Já as plantas cultivadas no LBw argiloso apresentaram pequena variação nos teores nutricionais da parte aérea com a adição dos corretivos (Quadro 8), acompanhando o observado para produção de MS.

O Mn na planta mostrou ser o micronutriente mais sensível ao uso de calcário e lodo alcalinizado quando em nível elevado na planta, comprovando sua alta sensibilidade à variações de pH, como já observado e relatado (Motta et al., 2007). Já o decréscimo dos teores de Fe nas plantas só ocorreu quando o nível na planta se encontrava elevado, como observado no LVd muito argiloso, comprovando que a elevação do pH pode ser uma excelente ferramenta na diminuição da toxidez de Mn e Fe proporcionada pela elevada acidez.

Quadro 7. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LVd arenoso.

DOSE (%)	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Lodo Alcalinizado 0	424,3 (± 0,66)	33,3 (± 0,76)	2,18 (± 0,27)	16,6 (± 0,61)	6,82 (± 0,43)	1,72 (± 0,15)	163 (± 2,71)	621 (± 2,20)	5,8 (± 0,40)	37,9 (± 0,87)
Lodo Alcalinizado 50	420,2 (± 0,59)	28,3 (± 0,48)	2,30 (± 0,19)	15,3 (± 0,44)	9,59 (± 0,23)	2,28 (± 0,12)	152 (± 2,03)	196 (± 2,22)	5,4 (± 0,12)	35,3 (± 0,82)
Lodo Alcalinizado 100	420,6 (± 0,84)	26,8 (± 0,73)	2,27 (± 0,20)	14,5 (± 0,38)	11,12 (± 0,58)	2,84 (± 0,23)	139 (± 1,12)	77 (± 1,60)	6,3 (± 0,18)	30,8 (± 0,70)
Lodo Alcalinizado 150	412,2 (± 0,49)	30,5 (± 0,51)	2,47 (± 0,24)	15,2 (± 0,39)	12,38 (± 0,51)	3,09 (± 0,20)	169 (± 1,69)	56 (± 0,99)	7,1 (± 0,34)	27,6 (± 0,56)
Lodo Alcalinizado 200	414,8 (± 0,53)	27,7 (± 0,51)	2,23 (± 0,13)	13,4 (± 0,20)	9,02 (± 0,29)	2,80 (± 0,16)	139 (± 1,58)	40 (± 0,57)	6,2 (± 0,13)	24,9 (± 0,47)
Calcário 0	424,5 (± 0,78)	32,0 (± 0,29)	2,18 (± 0,20)	18,3 (± 0,40)	6,34 (± 0,22)	1,62 (± 0,10)	130 (± 0,97)	631 (± 2,14)	5,0 (± 0,18)	40,4 (± 0,38)
Calcário 50	423,0 (± 1,06)	31,2 (± 0,77)	2,00 (± 0,21)	16,7 (± 0,45)	7,10 (± 0,61)	1,80 (± 0,24)	140 (± 1,61)	278 (± 5,55)	6,5 (± 0,53)	31,9 (± 0,77)
Calcário 100	414,3 (± 0,33)	31,0 (± 0,34)	2,04 (± 0,17)	13,6 (± 0,52)	7,82 (± 0,49)	2,17 (± 0,23)	140 (± 2,04)	71 (± 2,00)	6,0 (± 0,28)	21,9 (± 0,68)
Calcário 150	418,2 (± 1,11)	30,6 (± 0,87)	2,53 (± 0,00)	16,8 (± 0,00)	10,72 (± 0,00)	2,74 (± 0,00)	212 (± 3,11)	58 (± 1,96)	6,9 (± 0,46)	28,1 (± 1,22)
Calcário 200	416,9 (± 0,80)	30,4 (± 0,15)	2,39 (± 0,20)	14,8 (± 0,27)	10,08 (± 0,47)	2,94 (± 0,24)	130 (± 1,10)	40 (± 0,93)	6,6 (± 0,34)	17,0 (± 0,66)
Efeito Lodo Alcalinizado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Interação Corretivos x Doses	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Efeito médio Lodo										
Alcalinizado e Calcário	L**	ns	ns	L*	L*	L*	ns	Q**	ns	L**

* Pvalor < 0,05; ** Pvalor < 0,01; ns = não significativo; Q = efeito quadrático; L = efeito linear; () = erro padrão.

Sintomas de deficiência de Fe, como clorose internerval, foram observados nas plantas de feijão cultivadas no LVd arenoso, na testemunha (Figura 5). Contudo não houve variação nos níveis deste elemento com a aplicação dos corretivos. Logo, é provável que tenha ocorrido interação envolvendo outros elementos, principalmente Mn e P. Altos níveis de Mn em relação aos de Fe na planta, aliados ao teor adequado de P, tem sido indicados como fatores de indução de deficiência de Fe na planta (Kohno & Foy,1983a), podendo ocorrer em ambientes ácidos. Nesta condição observou-se relação Fe/Mn menor que 0,3 no presente trabalho, próxima a 0,16 observada por Malavolta & Kliemann (1985) para que ocorressem sintomas de deficiência de Fe em plantas de feijão. Além da clorose constatou-se também encarquilhamento que, segundo os autores acima citados, é um dos sintomas relacionados à toxidez de Mn.

Os teores de Mn nas plantas desenvolvidas no LVd muito argiloso ficaram próximos aos do LVd arenoso, que apresentaram apenas sintomas de encarquilhamento e baixo desenvolvimento. A ausência de clorose pode estar associada a altos níveis de Fe proporcionando relação Fe/Mn maior que 0,63, considerado por Malavolta & Kliemann (1985) normal para a cultura do feijão. Segundo Kohno & Foy (1983a e 1983b) a tolerância ao excesso de Mn está ligada à genética da planta e é regulada pela capacidade de absorção reduzida pelas raízes, pela baixa translocação do elemento para a parte aérea e pela tolerância de altos teores de Mn no tecido foliar. Os mesmos autores verificaram sintomas de toxidez em cultivares de feijão sensíveis e tolerantes ao Mn com teores de 334 e 1253 mg kg⁻¹ respectivamente. Possivelmente o cultivar utilizado no presente estudo tenha tolerância intermediária.

O decréscimo seguido de acréscimo de Fe na planta foi observado com o uso de calcário apenas no solo muito argiloso. Contudo, a literatura em geral faz menção de que a elevação do pH pode não influenciar a concentração de Fe nas plantas (Quaggio et al., 1998; Fonseca et al., 2010; Prado et al., 2004) como pode decrescer (Silva et al., 2007).

Corroborando com resultados aqui obtidos, Ritchey et al. (1986) e Assmann (1995) também constataram aumento no teor de Fe na planta de milho em função do aumento da dose de calcário, em estudo de campo e casa de vegetação, respectivamente. Os primeiros autores indicaram ainda que a aplicação de Zn, em solo deficiente neste elemento, amenizou os acréscimos de Fe nas folhas de milho quando da aplicação de doses crescentes de calcário. Assmann (1995) justifica tal fato pelo antagonismo entre Fe e Mn, já que houve um acréscimo da relação Fe/Mn com o aumento das doses, corroborando com o verificado no presente estudo. Ainda, Motta et al. (2007) indicam que altos níveis de Fe e/ou Mn na planta podem ser uma consequência da deficiência de Zn, e que a deficiência induzida de Zn causada pelo uso de calcário, propiciaria a elevação nos teores de Fe na planta.

O maior incremento em MS com adição de lodo alcalinizado comparativamente à adição de calcário para o LVd muito argiloso e no LBw argiloso pode ser atribuído ao suprimento de Zn (Quadros 6 e 8), visto que diferentemente do calcário, não houve decréscimo no teor de Zn com aplicação do lodo alcalinizado. Ainda, a manutenção da elevada relação Fe/Zn nas plantas, é um indicativo de carência de Zn nos tratamentos com calcário.

Com a aplicação dos corretivos no LVd muito argiloso verificou-se o aumento dos teores de P, Ca e Mg no tecido vegetal e promoveu o decréscimo dos teores de N, K, Fe e Mn, porém mantendo níveis adequados de Fe e K (Quadro 6). Entretanto, maiores teores nas plantas de N, K, Fe e Mn na testemunha neste solo podem ser explicados pelo efeito concentração dos nutrientes.

Com exceção do K, os resultados obtidos eram esperados, pois como exposto anteriormente, os resultados são devidos ao baixo pH e toxidez de Al. Tanto o uso de lodo alcalinizado quanto de calcário proporcionaram acréscimos nos teores de Ca e Mg na planta e conseqüente decréscimo nos teores de K, nos três solos utilizados.

O que justifica o decréscimo de K com uso dos corretivos é a interação antagônica com o Ca e Mg, fato confirmado com uma alta correlação negativa entre a concentração de (Ca+Mg) e K ($r = -0,72^{**}$) no solo muito argiloso. Este fato indica que ambos os corretivos atuam no suprimento de

Ca e Mg, e podem interagir antagonicamente com o K, fato já discutido por diversos autores (Oliveira et al., 2001; Prado et al., 2007; Araújo et al., 2009; Fageria & Stone, 2004; Ding et al., 2006). Ainda, mesmo com a adição de K via lodo e adubação mineral, a absorção de K pelas plantas não superou o efeito antagônico da interação com Ca e Mg. Logo, a aplicação destes corretivos em solos com baixo teor de K pode ser um fator limitante ao uso dos mesmos.

Quadro 8. Teores médios de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão tratadas com lodo alcalinizado, calcário e NPK em todos os tratamentos no LBw argiloso.

DOSE (%)	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Lodo Alcalinizado 0	447,8 (± 0,33)	23,6 (± 0,53)	1,87 (± 0,09)	15,8 (± 0,30)	5,49 (± 0,28)	1,43 (± 0,10)	144 (± 0,49)	136 (± 1,38)	8,7 (± 0,41)	26,6 (± 0,69)
Lodo Alcalinizado 50	427,3 (± 0,45)	31,3 (± 0,72)	1,35 (± 0,12)	14,0 (± 0,48)	11,43 (± 0,71)	2,74 (± 0,30)	163 (± 1,46)	74 (± 1,06)	5,3 (± 0,42)	41,9 (± 0,47)
Lodo Alcalinizado 100	416,7 (± 0,79)	31,5 (± 0,25)	1,47 (± 0,12)	12,1 (± 0,34)	11,22 (± 0,26)	2,96 (± 0,12)	141 (± 1,47)	31 (± 0,58)	5,4 (± 0,23)	42,1 (± 0,76)
Lodo Alcalinizado 150	412,4 (± 0,60)	34,4 (± 0,35)	1,62 (± 0,18)	12,6 (± 0,44)	10,75 (± 0,22)	3,03 (± 0,12)	136 (± 0,45)	18 (± 0,74)	5,3 (± 0,35)	42,1 (± 0,39)
Lodo Alcalinizado 200	410,7 (± 0,66)	33,3 (± 0,49)	1,60 (± 0,20)	13,2 (± 0,32)	10,78 (± 0,34)	3,11 (± 0,15)	130 (± 1,89)	16 (± 0,61)	5,0 (± 0,28)	41,8 (± 0,73)
Calcário 0	429,5 (± 1,84)	29,2 (± 0,91)	2,37 (± 0,17)	14,6 (± 0,32)	5,73 (± 0,28)	1,61 (± 0,10)	215 (± 3,68)	149 (± 0,96)	26,0 (± 1,57)	27,4 (± 0,38)
Calcário 50	421,7 (± 1,39)	33,0 (± 0,64)	1,63 (± 0,14)	15,6 (± 0,41)	9,49 (± 0,25)	2,22 (± 0,10)	140 (± 1,16)	59 (± 0,76)	11,2 (± 0,79)	24,8 (± 0,45)
Calcário 100	418,8 (± 0,50)	32,3 (± 0,44)	1,45 (± 0,12)	12,6 (± 0,27)	13,35 (± 0,76)	3,07 (± 0,33)	137 (± 1,19)	27 (± 0,20)	6,1 (± 0,44)	20,7 (± 0,32)
Calcário 150	410,7 (± 0,60)	32,6 (± 0,39)	1,42 (± 0,07)	14,1 (± 0,39)	11,04 (± 0,25)	2,83 (± 0,09)	195 (± 2,73)	16 (± 0,63)	5,1 (± 0,37)	18,0 (± 0,40)
Calcário 200	407,8 (± 0,77)	34,2 (± 0,23)	1,53 (± 0,14)	13,6 (± 0,14)	10,81 (± 0,30)	2,89 (± 0,11)	152 (± 2,78)	11 (± 0,62)	5,0 (± 0,21)	13,8 (± 0,21)
Efeito Lodo Alcalinizado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Q**
Efeito Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	L**
Interação Corretivos x Doses	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Efeito médio Lodo										
Alcalinizado e Calcário	L**	L**	Q**	Q*	Q**	Q**	ns	Q**	L*	-

* Pvalor < 0,05; ** Pvalor < 0,01; ns = não significativo; Q = efeito quadrática; L = efeito linear; () = erro padrão.

O aumento de MS e produtividade com uso de lodo de esgoto vêm sendo atribuído à maior disponibilidade de nutrientes, principalmente N, P, Cu e Zn (Suhadolc et al., 2010; Martins et al., 2003; Gomes et al., 2007; Hussein et al., 2009). Contudo, no presente estudo ficou claro apenas o efeito do Zn, tendo em vista que houve o fornecimento de N e P via adubação mineral em todos os tratamentos.

A extração de macronutrientes seguiu a ordem: N > K > Ca > Mg > P, e a de micronutrientes: Fe > Mn > Zn > Cu, tanto com adição de lodo alcalinizado quanto de calcário para os três solos avaliados (Apêndice 1).



Figura 5. Sintomas de toxidez de Mn associados à sintomas de deficiência de Fe em solo arenoso sem adição de lodo alcalinizado e calcário (testemunha).

3.3 Análise de componentes principais (ACP)

O resultado da ACP, incluindo nutrição da planta demonstrou por meio da relação entre a componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2), que houve separação entre corretivos e entre doses, nas três áreas avaliadas (Figura 6). No LVD muito argiloso, 52 % da variabilidade dos dados é explicada pela CP1 e 19 % pelo CP2 (Figura 6A). No LBw argiloso, 41 % dos dados foram explicadas pela CP 1 e 21 % pela CP 2 (Figura 6B). Para o LVD arenoso, 30 % dos dados foram explicadas pela CP 1 e 25 % pela CP 2 (Figura 6C).

Nos três solos, podem ser observadas interações antagônicas entre Ca e Mg com K, MS com Fe e ainda efeito do Zn na produção de MS, especialmente no LBw argiloso (Figura 6B). Portanto, estes resultados revelam comportamento distinto entre os corretivos utilizados nos solos argilosos, resultados já discutidos anteriormente.

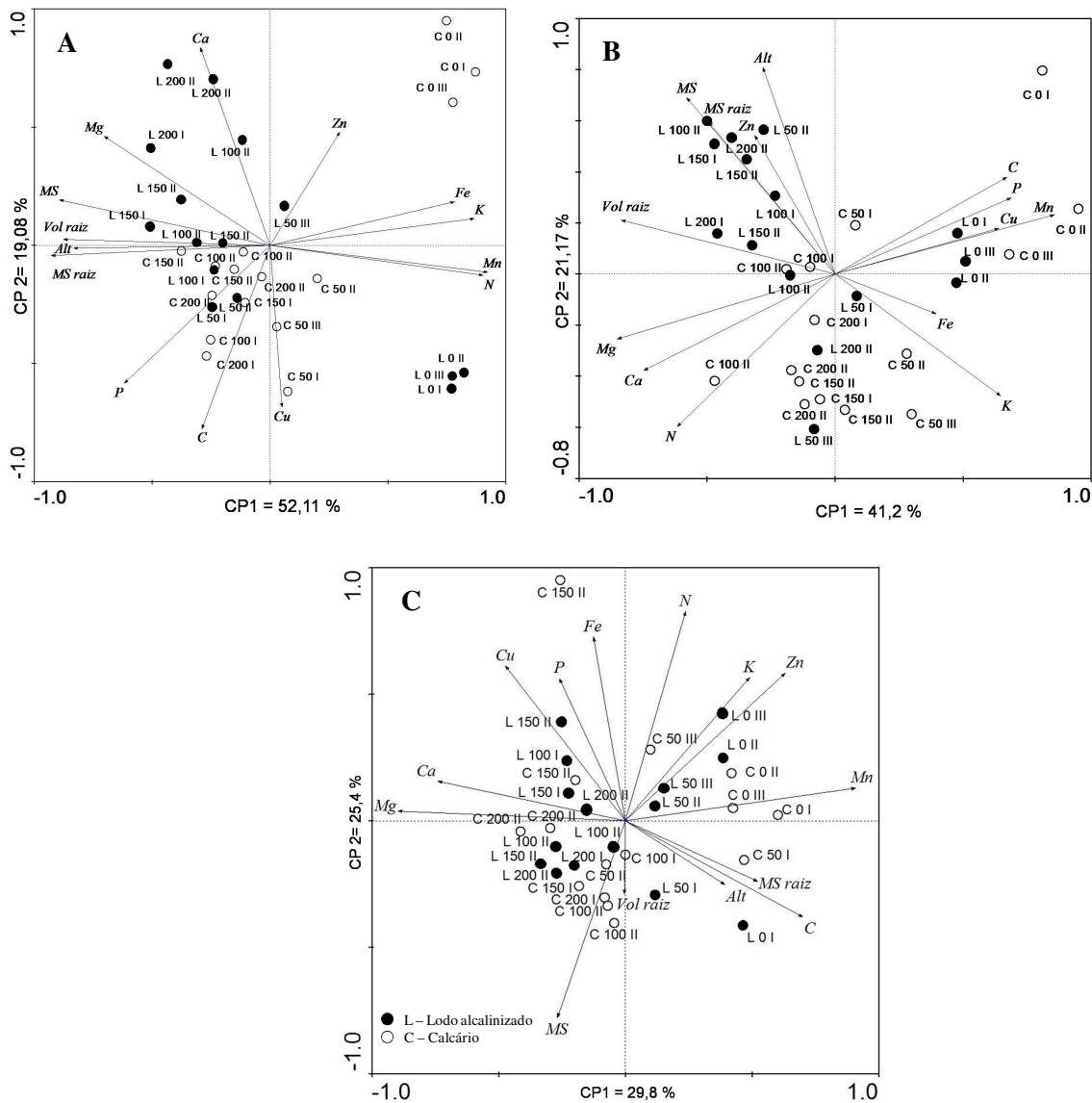


Figura 6. Análise de componentes principais (ACP) usando como variáveis de resposta (dependentes) os dados de teores de nutrientes da parte aérea e produção de matéria seca (MS), em Latossolo Vermelho distroférrico (LVd muito argiloso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (A); em Latossolo Bruno Ácrico (LBw argiloso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (B); e em Latossolo Vermelho distrófico (LVd arenoso) com uso de lodo alcalinizado e calcário (C). CP: componente principal; 0, 50, 100, 150 e 200: doses de lodo e calcário, equivalentes em %; Ca: cálcio; Mg.: Magnésio; P: fósforo; Cu: cobre; Zn: zinco; Mn: manganês; N: nitrogênio; C: carbono; K: potássio; Fe: ferro; MS: matéria seca da parte aérea; MS raiz: matéria seca de raiz; Vol raiz: volume de raiz; Alt: altura de plantas.

4 CONCLUSÕES

1. A resposta de produção de MS variou muito entre os solos avaliados. A adição de lodo alcalinizado se mostrou superior ao calcário para a produção de MS nos solos argilosos.
2. A m% foi o parâmetro que melhor indicou o comportamento distinto nos três solos avaliados. A textura, o teor de matéria orgânica e a saturação por bases também contribuem na explicação.
3. O Zn e o P se mostraram determinantes na produção de MS nos solos argilosos.
4. Doses excessivamente altas de lodo alcalinizado e calcário podem acarretar em limitação na absorção de Mn e proporcionar decréscimo na produção de MS.
5. A combinação de teores excessivamente altos de Fe e Mn no tecido vegetal sugere efeito negativo na produção de MS, indicando desbalanço nutricional e necessidade de correção.
6. A correção do solo com pela adição de lodo alcalinizado e calcário e conseqüente elevação da saturação por bases e aumento dos teores de Ca e Mg no solo e na planta reduzem o teor de K na parte aérea do feijoeiro.

5 REFERÊNCIAS

ADJEI, M.B. & REHCIGL, J.E. Bahiagrass production and nutritive value as affected by domestic wastewater residuals. *Agron. J.*, 94:1400-1410, 2002.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar; Finep, 1999. 288p.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E.C.A. de; CRUSCIOL, C.A.C. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2437-2446, 2000.

ARAÚJO, S.R.; DEMATTE, J.A.M. & GARBUIO, F.J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. *R. Bras. Ciênc. Solo*, 33:1755-1764, 2009.

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

ASSMANN, T.S. Influência da aplicação do calcário Irati (São Mateus do Sul - PR) nos teores de S, Cu, Fe, Mn e Zn no solo e na planta de milho (*Zea mays* L.). Curitiba, 1995. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná.

BARBOSA, G.M.C.; FILHO J. T.; BRITO, O.R. & FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. R. Bras. Ci. Solo, 31:601-605, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama> >. Acesso em: ago. 2010.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:1011-1022, 2002.

CAMARGO, C.E.O. A concentração de fósforo na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas. Bragantia, 44:49-64, 1985.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A. & ROCHA, A.T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. Acta Sci. Agronomy, 33:153-159, 2011.

CHUEIRI, W.A.; SERRAT, B.M.; BIELE, J. & FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 11:502-508, 2007.

DING, Y.; LUO, W. & XU, G. Characterizations of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Ann. Appl. Biol., 149:111-123, 2006.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 5:416-424, 2001.

FAGERIA, N.K. & BALIGAR, V.C. Fertility management of tropical acid soil for sustainable crop production. In: RENGEL, Z., ed. Handbook of soil acidity. New York, Marcel Dekker, 2003. p.359-385.

FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. Pesq. Agropec. Bras., 39:73-78, 2004.

FAQUIN, V.; ANDRADE, C.A.B.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, A.T. & CURI, N. Resposta do feijoeiro à aplicação de calcário em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Rev. Bras. Ci. Solo, 22:651-660, 1998.

FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F. & BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. Sci. Agric., 67:60-70, 2010.

FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicity in acid soils. In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1984. p.57-97.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A. & BIONDO, C.M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 11:459-465, 2007.

HUSSEIN, A.H.A. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient contents of cucumber crop. J. Applied Sci., 9:1401-1411, 2009.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. OLIVEIRA, E.L.de (org.). Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 2003. 30p.

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

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A. & PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. Ann. Rev. Plant Biol., 55:459-493, 2004.

KOHNO, Y. & FOY, C.D. Differential tolerance of bush bean cultivars to excess manganese in solution and sand culture. J. Plant Nutr., 6:877-893, 1983a.

KOHNO, Y. & FOY, C.D. Manganese toxicity in bush bean as affected by concentration of manganese and iron in the nutrient solution. J. Plant Nutr., 6:363-386, 1983b.

LIMA, E.V.; ARAGÃO, C.A.; MORAIS, O.M.; TANAKA, R. & GRASSI FILHO, H. Adubação NPK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. Sci. Agric., 58:125-129, 2001.

LOPES, A.S. & COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 3:82-88, 1979.

MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no Cerrado. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ed. San Diego: Academic Press, 1995.889p.

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

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

MENZIES, N.W. Toxic elements in acid soils: Chemistry and measurement. In: RENGEL, Z., ed. Handbook of soil acidity. New York, Marcel Dekker, 2003. p.267-296.

MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 3ª Edição. Editor Evangraf, Porto Alegre, 2006. 285p.

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. 246p.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C. & MASCARENHAS, H.A. A disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. Sci. Agric., 58:329-335, 2001.

PONTONI, D.R.; POGGERE, G.C.; SANTOS, W.N.; SERRAT, B.M.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A.C.V. & ANDREOLI, C.V. Avaliação de Curvas de Elevação de pH de Três Solos do Estado do Paraná Incubados com Lodo e Calcário. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo e VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 2010, Guarapari - ES.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. & NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 27:287-296, 2003.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; CORRÊA, M.C.M. & BRAGHIROLI, L.F. Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. R. Bras. Frutic., 26:145-149, 2004.

PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M. & ROZANE, D.E. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 31) cultivadas em solução nutritiva. Científica, 35:122-128, 2007.

QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; FURLANI, A.M.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. R. Bras. Ci. Solo, 22:337-344, 1998.

REISSMANN, C.B. & CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorridos oito anos de calagem. Floresta, 34:381-386, 2004.

RANGEL, Z. Handbook of Soil Acidity, Marcel Dekker, 2003. 496p.

RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. Pesq. Agropec. Bras., 21:215-225, 1986.

SILVA, L.M.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P. & FELTRAN, J.C. Crescimento radicular e absorção de micronutrientes do feijoeiro em razão da calagem. Científica. 35:88-105, 2007.

SCHROEDER, B.L.; TURNER, P.E.T. & MEYER, J.H. Evaluation of a soil aluminium saturation index for use in the South African sugar belt. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass., 69:46-49, 1995.

SUHADOLC, M.; SCHROLLB, R.; HAGNB, A.; DORFLERB, U.; SCHLOTERB, M. & LOBNIKA, F. Single application of sewage sludge – Impact on the quality of an alluvial agricultural soil. Chemosphere, 81:1536-1543, 2010.

SUMNER, E.M. & NOBLE, A.D. Soil acidification: The world story. In: Rangel, Z., ed. Handbook of Soil Acidity, Marcel Dekker, 2003. p.1-28.

TAMANINI, C.R., MOTTA, A.C.V., ANDREOLI, C.V. & DOETZER, B.H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. Braz. Arch. Biol. Techn., 51:643-655, 2008.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BHENEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, planta e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)

TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. CANOCO reference manual and canodraw for Windows user's guide: Software for canonical community ordination version 4.5). Ithaca, Microcomputer Power, 2002. 500p.

WONG, M., & SWIFT, R. Role of organic matter in alleviating soil acidity in farming systems. In: RANGEL, Z., ed. Handbook of Soil Acidity, Marcel Dekker, 2003. p.337-358.

WUTKE, A.C.P.; GARGANTINI, H. & GOMES, A.G. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. Bragantia, 21:795-805, 1962.

YANG, L.T.; JIANG, H.X.; TANG, N. & CHEN, L.S. Mechanisms of aluminum-tolerance in two species of citrus: Secretion of organic acid anions and immobilization of aluminum by phosphorus in roots. Plant Sci., 180:521-530, 2011.

6 APÊNDICE

Apêndice 1. Extração de nutrientes pela parte aérea de plantas de feijão em função da aplicação de doses crescentes de lodo alcalinizado e calcário em três solos ácidos do Estado do Paraná.

Doses %	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	mg vaso ⁻¹								
LVd muito argiloso - Pato Branco									
Lodo Alcalinizado 0	62,8	1,0	20,9	5,5	2,1	0,672	0,769	0,008	0,028
Lodo Alcalinizado 50	196,6	9,4	87,2	44,2	13,0	0,811	0,714	0,035	0,117
Lodo Alcalinizado 100	275,5	11,1	124,1	68,1	20,8	1,569	0,614	0,047	0,212
Lodo Alcalinizado 150	342,8	15,8	129,9	97,4	29,6	1,908	0,404	0,069	0,291
Lodo Alcalinizado 200	359,0	13,8	135,3	104,4	33,1	1,178	0,313	0,066	0,377
Calcário 0	120,9	2,0	39,5	32,2	9,6	0,996	0,445	0,013	0,070
Calcário 50	93,0	2,8	48,2	17,0	5,0	0,689	0,467	0,011	0,048
Calcário 100	233,9	10,2	95,8	53,2	15,6	1,068	0,444	0,039	0,095
Calcário 150	223,8	9,3	82,8	53,6	16,4	1,616	0,189	0,036	0,095
Calcário 200	244,1	9,2	92,5	57,1	17,8	2,786	0,339	0,045	0,103
LBw argiloso - Pinhais									
Lodo Alcalinizado 0	249,9	13,1	137,2	49,5	13,8	3,155	1,082	0,067	0,198
Lodo Alcalinizado 50	280,7	13,8	130,0	73,1	19,1	1,577	0,863	0,060	0,339
Lodo Alcalinizado 100	337,4	15,4	129,3	128,8	31,9	1,329	0,435	0,053	0,439
Lodo Alcalinizado 150	340,6	14,8	133,3	112,2	31,6	1,522	0,264	0,050	0,421
Lodo Alcalinizado 200	396,0	20,0	148,0	129,7	36,5	1,420	0,175	0,067	0,482
Calcário 0	210,3	17,1	118,3	58,8	17,2	1,858	0,855	0,190	0,285
Calcário 50	229,9	15,1	117,9	64,0	16,1	1,086	0,712	0,101	0,191
Calcário 100	280,1	13,8	123,0	90,6	21,1	1,178	0,324	0,064	0,200
Calcário 150	280,3	11,5	107,2	116,8	27,7	1,484	0,157	0,042	0,154
Calcário 200	283,0	13,4	120,7	91,7	24,0	1,411	0,101	0,041	0,126
LVd arenoso - Umuarama									
Lodo Alcalinizado 0	232,5	12,3	111,3	54,8	14,8	1,198	3,119	0,036	0,211
Lodo Alcalinizado 50	271,9	19,9	132,6	77,0	18,1	1,178	2,675	0,051	0,301
Lodo Alcalinizado 100	312,3	23,7	143,3	90,8	23,9	1,421	1,110	0,056	0,306
Lodo Alcalinizado 150	253,2	21,1	129,5	108,7	25,9	1,414	0,653	0,062	0,263
Lodo Alcalinizado 200	317,0	23,0	149,2	117,3	34,2	1,497	0,463	0,067	0,273
Calcário 0	288,7	19,8	148,3	60,1	16,7	1,228	3,571	0,046	0,308
Calcário 50	253,1	16,9	159,0	71,7	17,2	1,355	4,266	0,047	0,325
Calcário 100	263,0	18,6	127,5	56,4	16,5	1,334	0,504	0,065	0,208
Calcário 150	244,1	21,5	136,9	91,9	23,9	1,369	0,566	0,049	0,216
Calcário 200	246,5	20,2	133,8	86,6	24,7	1,294	0,458	0,059	0,153

Apêndice 2. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de lodo alcalinizado no LVd muito argiloso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Lodo Alcalinizado															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	0,8600	-0,9200	-0,5100	0,9500	0,4000	-0,7800	0,7600	0,6400	-0,8300	-0,9000	-0,4700	0,2700	0,9400	0,9600
Altura	0,0000	1,0000	-0,7800	-0,3900	0,7900	0,5200	-0,6000	0,5400	0,3500	-0,6700	-0,7600	-0,2900	0,2600	0,8000	0,8800
N	0,0000	0,0006	1,0000	0,4500	-0,9700	-0,4800	0,8000	-0,8000	-0,6300	0,9600	0,9800	0,6000	-0,0300	-0,8600	-0,9000
C	0,0515	0,1468	0,0960	1,0000	-0,3600	0,1900	0,4300	-0,5700	-0,5600	0,4400	0,5400	0,5700	-0,2400	-0,4600	-0,3700
C/N	0,0000	0,0005	0,0000	0,1830	1,0000	0,5200	-0,7900	0,7500	0,6100	-0,9000	-0,9300	-0,4900	0,1300	0,8900	0,9300
P	0,1373	0,0455	0,0681	0,4948	0,0467	1,0000	0,0000	0,2000	-0,0300	-0,4400	-0,4100	0,1100	-0,0600	0,2100	0,4300
K	0,0005	0,0179	0,0003	0,1131	0,0005	0,9913	1,0000	-0,7100	-0,7100	0,8100	0,8200	0,7700	0,0400	-0,8600	-0,7700
Ca	0,0009	0,0386	0,0004	0,0271	0,0013	0,4738	0,0028	1,0000	0,9300	-0,8400	-0,8500	-0,7200	0,0000	0,6300	0,6200
Mg	0,0107	0,2062	0,0112	0,0307	0,0151	0,9273	0,0028	0,0000	1,0000	-0,7000	-0,6900	-0,7700	0,0500	0,5400	0,4600
Fe	0,0001	0,0063	0,0000	0,1020	0,0000	0,1034	0,0003	0,0001	0,0038	1,0000	0,9700	0,7200	0,0900	-0,7600	-0,8000
Mn	0,0000	0,0010	0,0000	0,0390	0,0000	0,1270	0,0002	0,0001	0,0048	0,0000	1,0000	0,6800	0,0100	-0,8300	-0,8600
Cu	0,0778	0,2863	0,0190	0,0281	0,0608	0,7093	0,0007	0,0026	0,0008	0,0023	0,0054	1,0000	0,3600	-0,4500	-0,4000
Zn	0,3391	0,3525	0,9113	0,3934	0,6433	0,8339	0,8935	0,9989	0,8722	0,7498	0,9719	0,1855	1,0000	0,3000	0,1900
Volume Raiz	0,0000	0,0003	0,0000	0,0855	0,0000	0,4513	0,0000	0,0114	0,0363	0,0011	0,0001	0,0951	0,2824	1,0000	0,9400
MS de Raiz	0,0000	0,0000	0,0000	0,1714	0,0000	0,1107	0,0008	0,0139	0,0858	0,0003	0,0000	0,1428	0,5046	0,0000	1,0000

Apêndice 3. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de calcário no LVd muito argiloso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Calcário															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	0,7200	-0,7400	0,4700	0,7600	0,5100	-0,7400	-0,3600	0,7500	-0,3700	-0,7500	0,7100	-0,7600	0,9200	0,9100
Altura	0,0023	1,0000	-0,6000	0,5700	0,6000	0,5500	-0,6800	-0,2900	0,7400	-0,6200	-0,7300	0,5600	-0,6700	0,7000	0,7500
N	0,0017	0,0186	1,0000	-0,4800	-0,9600	-0,7200	0,7300	0,6000	-0,5700	0,5500	0,7900	-0,6100	0,7600	-0,6500	-0,7200
C	0,0785	0,0273	0,0680	1,0000	0,6200	0,7600	-0,5700	-0,5200	0,4500	-0,6600	-0,6800	0,5200	-0,5900	0,5700	0,6700
C/N	0,0010	0,0175	0,0000	0,0131	1,0000	0,8200	-0,8000	-0,6600	0,6100	-0,6100	-0,8600	0,6500	-0,8200	0,6900	0,7800
P	0,0515	0,0340	0,0024	0,0010	0,0002	1,0000	-0,7700	-0,7100	0,4700	-0,8300	-0,8500	0,4700	-0,8000	0,4900	0,6000
K	0,0016	0,0052	0,0020	0,0260	0,0004	0,0008	1,0000	0,5500	-0,8200	0,7700	0,9600	-0,6200	0,9300	-0,7100	-0,8000
Ca	0,1905	0,2981	0,0176	0,0460	0,0079	0,0032	0,0322	1,0000	-0,1100	0,5600	0,7100	-0,4300	0,7000	-0,2800	-0,3700
Mg	0,0014	0,0015	0,0281	0,0945	0,0164	0,0801	0,0002	0,6937	1,0000	-0,5100	-0,7400	0,5400	-0,6600	0,7800	0,8200
Fe	0,1725	0,0138	0,0346	0,0073	0,0168	0,0001	0,0007	0,0292	0,0539	1,0000	0,8000	-0,2200	0,7700	-0,3500	-0,4700
Mn	0,0014	0,0022	0,0005	0,0057	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033	0,0017	0,0004	1,0000	-0,6600	0,9700	-0,7100	-0,8100
Cu	0,0028	0,0298	0,0154	0,0467	0,0083	0,0764	0,0144	0,1137	0,0360	0,4387	0,0076	1,0000	-0,5900	0,7700	0,8100
Zn	0,0010	0,0063	0,0010	0,0214	0,0002	0,0004	0,0000	0,0039	0,0070	0,0009	0,0000	0,0197	1,0000	-0,7100	-0,7900
Volume Raiz	0,0000	0,0039	0,0082	0,0258	0,0040	0,0640	0,0033	0,3211	0,0006	0,2071	0,0029	0,0009	0,0031	1,0000	0,9800
MS de Raiz	0,0000	0,0013	0,0024	0,0063	0,0007	0,0176	0,0004	0,1707	0,0002	0,0753	0,0002	0,0003	0,0005	0,0000	1,0000

Apêndice 4. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de lodo alcalinizado no LVd arenoso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Lodo Alcalinizado															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	-0,1000	-0,3300	-0,3800	0,2500	-0,2200	-0,6100	0,1300	0,5100	-0,3400	-0,6600	-0,1000	-0,6600	-0,2000	-0,5100
Altura	0,7352	1,0000	0,1700	0,0100	-0,1700	0,2200	0,0900	-0,1500	-0,2500	0,2700	-0,1600	-0,0100	0,0200	-0,2300	-0,1100
N	0,2272	0,5403	1,0000	0,0700	-0,9700	0,6600	0,7200	-0,1400	-0,2400	0,5000	0,2100	0,3900	0,3700	-0,5800	-0,1900
C	0,1641	0,9708	0,8113	1,0000	0,0500	-0,0300	0,0600	-0,5600	-0,7200	-0,1600	0,5800	-0,2800	0,2400	0,3200	0,6800
C/N	0,3705	0,5356	0,0000	0,8642	1,0000	-0,6200	-0,6700	0,1500	0,2000	-0,5400	-0,1500	-0,3200	-0,3400	0,5700	0,2500
P	0,4331	0,4386	0,0080	0,9167	0,0140	1,0000	0,5000	0,2300	0,1200	0,2500	-0,0900	0,7500	0,2400	-0,5000	-0,2000
K	0,0151	0,7540	0,0023	0,8188	0,0061	0,0589	1,0000	0,1000	-0,2200	0,7400	0,5100	0,2800	0,7700	-0,2200	0,1300
Ca	0,6537	0,6049	0,6101	0,0299	0,5919	0,4077	0,7320	1,0000	0,8700	0,2100	-0,5800	0,4300	-0,0500	-0,0200	-0,4000
Mg	0,0515	0,3724	0,3820	0,0024	0,4752	0,6611	0,4359	0,0000	1,0000	-0,0200	-0,8000	0,4200	-0,4400	-0,2200	-0,6800
Fe	0,2205	0,3351	0,0551	0,5601	0,0357	0,3735	0,0016	0,4425	0,9484	1,0000	0,2000	0,1500	0,4700	-0,0100	-0,1500
Mn	0,0070	0,5774	0,4588	0,0242	0,5844	0,7398	0,0505	0,0232	0,0003	0,4858	1,0000	-0,2800	0,7100	0,3300	0,7600
Cu	0,7131	0,9855	0,1536	0,3051	0,2472	0,0014	0,3088	0,1088	0,1211	0,6014	0,3169	1,0000	-0,1200	-0,4700	-0,4800
Zn	0,0080	0,9439	0,1723	0,3866	0,2133	0,3917	0,0008	0,8465	0,1048	0,0795	0,0032	0,6668	1,0000	0,2400	0,6400
Volume Raiz	0,4809	0,4114	0,0229	0,2443	0,0265	0,0583	0,4204	0,9450	0,4290	0,9798	0,2279	0,0780	0,3935	1,0000	0,6600
MS de Raiz	0,0521	0,6881	0,4878	0,0055	0,3619	0,4724	0,6503	0,1357	0,0057	0,6037	0,0011	0,0673	0,0100	0,0072	1,0000

Apêndice 5. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de calcário no LVd arenoso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Calcário															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	0,2800	-0,8800	0,4400	0,9000	-0,3000	-0,2700	0,0600	0,0700	-0,5800	-0,1100	-0,6100	-0,5800	0,3200	0,4800
Altura	0,3119	1,0000	-0,0900	0,5200	0,1800	-0,6400	0,1000	-0,3500	-0,4000	-0,3200	0,3800	-0,4800	0,1100	-0,3400	-0,1000
N	0,0000	0,7389	1,0000	-0,1200	-0,9900	0,3100	0,3800	-0,3000	-0,2700	0,4300	0,3200	0,4300	0,6900	-0,3100	-0,3500
C	0,1016	0,0491	0,6831	1,0000	0,1800	-0,2900	0,1600	-0,7300	-0,6800	-0,6200	0,4700	-0,4400	0,0700	-0,1800	0,2700
C/N	0,0000	0,5157	0,0000	0,5111	1,0000	-0,3200	-0,3000	0,2800	0,2400	-0,4800	-0,2400	-0,5300	-0,6400	0,3000	0,3900
P	0,2766	0,0101	0,2559	0,2961	0,2440	1,0000	0,1100	0,3800	0,4500	0,1200	-0,2700	0,4300	-0,0400	0,5400	0,2800
K	0,3367	0,7342	0,1675	0,5643	0,2825	0,7087	1,0000	-0,1000	-0,2800	0,2300	0,7000	-0,2500	0,7200	0,0500	0,1600
Ca	0,8214	0,1962	0,2822	0,0020	0,3054	0,1581	0,7361	1,0000	0,9400	0,3300	-0,5100	0,1100	-0,3500	0,5700	0,1300
Mg	0,7929	0,1424	0,3231	0,0052	0,3968	0,0964	0,3153	0,0000	1,0000	0,2500	-0,6500	0,2600	-0,5300	0,5700	0,0800
Fe	0,0223	0,2508	0,1090	0,0142	0,0699	0,6608	0,4130	0,2252	0,3749	1,0000	-0,1700	0,4300	0,3700	-0,0900	-0,4200
Mn	0,7004	0,1652	0,2510	0,0755	0,3987	0,3371	0,0037	0,0507	0,0085	0,5456	1,0000	-0,5300	0,7600	-0,1300	0,2300
Cu	0,0166	0,0713	0,1054	0,1012	0,0443	0,1054	0,3666	0,6940	0,3533	0,1058	0,0414	1,0000	-0,0800	-0,2000	-0,4600
Zn	0,0236	0,6906	0,0042	0,8088	0,0103	0,8748	0,0026	0,1964	0,0425	0,1798	0,0009	0,7868	1,0000	-0,2100	0,0200
Volume Raiz	0,2455	0,2220	0,2601	0,5326	0,2750	0,0359	0,8538	0,0268	0,0271	0,7403	0,6491	0,4670	0,4592	1,0000	0,8000
MS de Raiz	0,0674	0,7319	0,1965	0,3259	0,1472	0,3041	0,5763	0,6379	0,7892	0,1181	0,4003	0,0826	0,9513	0,0003	1,0000

Apêndice 6. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de lodo alcalinizado no LBw argiloso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Lodo Alcalinizado															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	0,9100	0,0500	-0,6900	-0,1600	-0,1700	-0,7900	0,2900	0,4900	-0,5200	-0,7000	-0,3100	0,4200	0,7100	0,5000
Altura	0,0000	1,0000	0,1400	-0,6700	-0,2300	-0,0900	-0,7000	0,3400	0,5000	-0,6200	-0,6600	-0,1400	0,4700	0,7700	0,6100
N	0,8539	0,6287	1,0000	-0,5500	-0,9600	-0,2300	0,0800	0,8400	0,8000	-0,1700	-0,4300	-0,5700	0,5100	0,0000	-0,3000
C	0,0043	0,0058	0,0335	1,0000	0,6500	0,2000	0,5300	-0,5400	-0,7600	0,3700	0,8500	0,5500	-0,6400	-0,6100	-0,1500
C/N	0,5730	0,4007	0,0000	0,0081	1,0000	0,2700	0,0500	-0,8000	-0,8100	0,1400	0,5700	0,6000	-0,6300	-0,1800	0,1600
P	0,5487	0,7505	0,4033	0,4818	0,3345	1,0000	0,3100	-0,3500	-0,3500	-0,5100	0,3100	0,4900	-0,2600	-0,2000	-0,0700
K	0,0005	0,0035	0,7791	0,0427	0,8562	0,2546	1,0000	-0,2600	-0,4300	0,1900	0,7300	0,3900	-0,6200	-0,7700	-0,5800
Ca	0,2951	0,2123	0,0001	0,0379	0,0003	0,2034	0,3431	1,0000	0,9500	-0,2400	-0,5900	-0,6900	0,7100	0,2700	-0,1100
Mg	0,0666	0,0550	0,0003	0,0010	0,0002	0,1979	0,1073	0,0000	1,0000	-0,3300	-0,8000	-0,7600	0,7800	0,4300	-0,0600
Fe	0,0447	0,0133	0,5518	0,1715	0,6252	0,0528	0,5070	0,3817	0,2308	1,0000	0,2800	0,0000	-0,1600	-0,2900	-0,1700
Mn	0,0034	0,0073	0,1076	0,0001	0,0273	0,2615	0,0020	0,0210	0,0004	0,3082	1,0000	0,7000	-0,7700	-0,6200	-0,1200
Cu	0,2644	0,6120	0,0274	0,0342	0,0188	0,0636	0,1522	0,0048	0,0009	0,9894	0,0037	1,0000	-0,6500	-0,1900	0,3300
Zn	0,1216	0,0768	0,0514	0,0108	0,0125	0,3435	0,0128	0,0031	0,0006	0,5747	0,0008	0,0093	1,0000	0,6500	0,2500
Volume Raiz	0,0033	0,0009	0,9936	0,0159	0,5119	0,4638	0,0007	0,3370	0,1128	0,2955	0,0144	0,4951	0,0082	1,0000	0,7700
MS de Raiz	0,0604	0,0162	0,2721	0,5861	0,5658	0,8023	0,0225	0,6995	0,8401	0,5452	0,6761	0,2359	0,3739	0,0008	1,0000

Apêndice 7. Análise de correlação entre variáveis de crescimento e nutrição do feijoeiro em função de doses crescentes de calcário no LBw argiloso. Na diagonal superior estão dispostos os valores da correlação e na diagonal inferior o p-valor.

Calcário															
	MS	Altura	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Volume Raiz	MS de Raiz
MS	1,0000	0,3100	-0,2900	0,0900	0,2000	0,0400	-0,5700	0,1500	0,1300	-0,1300	-0,0600	-0,0600	-0,0500	0,1900	0,5100
Altura	0,2580	1,0000	-0,8500	0,7900	0,8200	0,4800	-0,0200	-0,5800	-0,5600	0,1400	0,5400	0,3800	0,3300	-0,3900	-0,1100
N	0,2932	0,0001	1,0000	-0,9300	-0,9600	-0,5800	0,0500	0,5600	0,5900	-0,1300	-0,7100	-0,4200	-0,6000	0,4100	0,0300
C	0,7503	0,0005	0,0000	1,0000	0,9400	0,5400	0,1200	-0,4900	-0,5400	-0,0500	0,6900	0,2400	0,6200	-0,3700	0,0200
C/N	0,4686	0,0002	0,0000	0,0000	1,0000	0,5300	0,0100	-0,5000	-0,5100	0,0600	0,6300	0,2700	0,5400	-0,4100	-0,1200
P	0,8864	0,0719	0,0232	0,0358	0,0407	1,0000	0,4400	-0,6800	-0,7100	0,1200	0,9100	0,5100	0,6600	-0,7700	-0,3700
K	0,0255	0,9409	0,8519	0,6682	0,9664	0,1033	1,0000	-0,3800	-0,4700	0,0300	0,3800	0,1100	0,4200	-0,5000	-0,4400
Ca	0,5980	0,0245	0,0284	0,0659	0,0604	0,0056	0,1619	1,0000	0,9700	-0,2200	-0,7000	-0,5900	-0,5300	0,7200	0,3500
Mg	0,6532	0,0296	0,0216	0,0378	0,0510	0,0029	0,0773	0,0000	1,0000	-0,1900	-0,7700	-0,5900	-0,6900	0,7600	0,3100
Fe	0,6427	0,6157	0,6457	0,8619	0,8453	0,6657	0,9138	0,4268	0,5060	1,0000	0,2800	0,6800	0,1500	-0,3200	-0,3900
Mn	0,8445	0,0362	0,0031	0,0043	0,0123	0,0000	0,1673	0,0039	0,0008	0,3173	1,0000	0,6700	0,8300	-0,7600	-0,3000
Cu	0,8229	0,1633	0,1236	0,3813	0,3239	0,0503	0,6971	0,0205	0,0209	0,0055	0,0064	1,0000	0,5900	-0,6300	-0,3700
Zn	0,8463	0,2258	0,0193	0,0134	0,0387	0,0076	0,1178	0,0443	0,0048	0,5839	0,0001	0,0215	1,0000	-0,6600	-0,1300
Volume Raiz	0,4867	0,1464	0,1335	0,1770	0,1276	0,0007	0,0586	0,0027	0,0010	0,2514	0,0010	0,0126	0,0069	1,0000	0,6700
MS de Raiz	0,0542	0,6940	0,9144	0,9568	0,6654	0,1694	0,1009	0,1974	0,2547	0,1525	0,2691	0,1698	0,6462	0,0066	1,0000