

CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO E CLASSES DE SOLOS¹

VANDEIR GREGÓRIO ALVES²
MESSIAS JOSÉ BASTOS DE ANDRADE³
JOÃO BATISTA DONIZETI CORRÊA⁴
AUGUSTO RAMALHO DE MORAES⁵
MARCELO VIEIRA DA SILVA²

RESUMO – Impedimentos físicos e/ou químicos ao sistema radicular podem restringir a absorção de nutrientes, levando a menores produtividades. Para avaliar o efeito de diferentes graus de compactação em três classes de solos, na concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro, conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação no Departamento de Agricultura da UFLA, no período de setembro a dezembro de 1997. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x5x2, envolvendo três classes de solos (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico - LVAd1 textura média, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico - LVAd2 argiloso e LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico - LVdf), cinco graus de compactação (50%, 62,5%, 75%, 87,5% e 100% da

densidade máxima) e duas cultivares de feijoeiro (Pérola e Aporé). Foram cultivadas duas plantas por vaso, colhidas no fim da maturação fisiológica, determinando-se a concentração de macronutrientes na parte aérea. Nutrientes mais móveis no solo como N, K e S, sujeitos à lixiviação, em geral, tiveram suas concentrações aumentadas na massa seca da parte aérea do feijoeiro com o aumento do grau de compactação do solo. A concentração de P, nutriente sujeito à fixação no solo, sofreu redução na massa seca da parte aérea do feijoeiro com o incremento do grau de compactação do solo. O incremento do grau de compactação reduziu o crescimento do feijoeiro. Os efeitos do grau de compactação foram diferenciados nas três classes de solo estudadas. No caso das concentrações de P e Mg, os efeitos também variaram conforme a cultivar.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Feijão, densidade do solo, nutrientes. teor foliar, *Phaseolus vulgaris*.

COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) PLANT MACRONUTRIENTS CONCENTRATION AFFECTED BY COMPACTION AND SOIL CLASSES

ABSTRACT – Root system physical and chemical impediments can restrict the nutrients absorption, resulting in low grain yield. The purpose of this work was to evaluate the effect of the different compaction degrees in the bean plant aerial part macronutrient concentration. The experiment was carried out in greenhouse at Depto. Agricultura/UFLA, from September to December of 1997. The experimental design was completely randomized with four replications and factorial arrangement, involving three

types of soils (sandy and clay Red Yellow Latossol LVAd1 and LVAd2 respectively, and a clay Dusky Red Latossol - LVdf), five compaction degrees (50%, 62,5%, 75%, 87,5% and 100% of the maximum density) and two bean cultivars (Pérola and Aporé). Two bean plants per pot were cultivated, harvested at physiological maturity, and evaluated for the macronutrient concentration. The plant tissue concentrations of N, K and S, movable nutrients in the soil and subjects to the lixiviation, in general were

1. Projeto financiado pela FAPEMIG.

2. Mestrando em Fitotecnia, UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS/UFLA, Caixa Postal 37, 37200-000 – Lavras, MG.

3. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Departamento de Agricultura da UFLA, bolsista do CNPq.

4. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Departamento de Agricultura da UFLA.

5. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Departamento de Ciências Exatas da UFLA.

Increased with the increase of the soil compaction degree. The plant tissue concentration of P, nutrient subject to the soil fixation, showed reduction with the increase of the soil compaction degree. The increasing compaction

degrees reduced the growth of the bean plant. All compaction degrees effects were differentiated at the three soil classes. The plant tissue concentration of P and Mg also were modified by the bean cultivar.

INDEX TERMS: Bean, nutrients, absorption, *Phaseolus vulgaris*.

INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas pode ser restrita por vários fatores, tais como: condições climáticas, pragas e doenças, classe de solos e suas propriedades, cultivares e seu potencial genético. Quanto ao solo, os atributos químicos e/ou físicos podem interferir no desenvolvimento radicular e restringir a absorção de nutrientes, resultando em menores produtividades das culturas.

Em virtude da compactação, há expulsão de ar dos poros do solo não saturado, com aumento da densidade do solo em consequência da redução do seu volume (Gupta et al., 1989), afetando a porosidade e promovendo decréscimos na difusão de oxigênio, na permeabilidade de água, na resistência mecânica, no desenvolvimento das raízes e na difusão de nutrientes, entre outros.

A compactação pode provocar redução no comprimento do sistema radicular, alterando o diâmetro da raiz para maiores valores, como forma de compensar a redução do comprimento (Vepraskas, 1994). Raízes longas e finas são características desejáveis nos genótipos melhorados, especialmente por aumentarem a eficiência de absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo, cuja movimentação é altamente dependente do mecanismo de difusão (Anghinoni & Meurer, 1999).

A compactação do solo pode induzir alterações na absorção e concentração de nutrientes nas plantas. Em cana-de-açúcar, Juang & Uehara (1969) verificaram redução na concentração de fósforo à medida que aumentou a compactação. Já Corrêa et al. (2001a), estudando o efeito da compactação em diferentes classes de solos, verificaram aumento nos teores de S, K, N e redução de Zn, B, Fe, Ca e Mg na cana-de-açúcar, à medida que aumentou a compactação. Quanto ao fósforo, houve aumento em um LVAd1 e redução em um LVAd2, enquanto no LVdf a compactação até o grau 75% foi benéfica. Redução na concentração de P foi observada também por Ribeiro et al. (1985) na cultura da soja, em função da compactação.

Trabalhando em um solo franco arenoso com 80 g.kg⁻¹ de argila, Mandal et al. (1990) estudaram o efeito dos níveis moderadamente compactados (DS= 1,79 Mg.m⁻³), altamente compactados (DS= 1,85 Mg.m⁻³) e

sem compactação (DS= 1,52 Mg.m⁻³), na lixiviação de nitrato aplicado na forma de nitrato de potássio (20 kg.ha⁻¹ de N). Observou-se, após sucessivas irrigações, que quando se aumentou a compactação, a concentração mais alta de nitrato era encontrada em menores profundidades, e que a perda de nitrato por lixiviação era de três a quatro vezes menor nos graus mais altos de compactação.

Estudando o efeito de três níveis de compactação (1,3; 1,6 e 1,9 Mg.m⁻³) na absorção de nutrientes em um Planossolo, Pedrotti et al. (1994) observaram, tanto no arroz de sequeiro, quanto no milho, diminuição na concentração foliar de N já no segundo grau de compactação. Os teores foliares de fósforo decresceram com a compactação do solo em arroz (irrigado e sequeiro), milho e soja, e somente para essa última, o segundo grau de compactação não foi prejudicial. O teor foliar de potássio teve tendência constante de decréscimo em todas as culturas.

Avaliando os efeitos da compactação no desenvolvimento e concentração de nutrientes na parte aérea do cafeeiro em três classes de solo, Corrêa et al. (2001b) observaram redução nas concentrações de N, P, K, S e Mg com o aumento do grau de compactação, exceto N, no LVAd2, e K, no LVdf. Os micronutrientes B e Cu tiveram sua concentração reduzida com o aumento do grau de compactação, ocorrendo o inverso com Fe e Mn, independente da classe de solo (Corrêa et al. 2001c).

Com a cultura do feijoeiro, não foram encontrados trabalhos de pesquisa sobre a concentração de nutrientes em função da compactação do solo. Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar a concentração de macronutrientes na parte aérea de duas cultivares de feijoeiro, em três classes de solo submetidas a diferentes graus de compactação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no período de setembro a dezembro de 1997. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e esquema fa-

torial 3x5x2, envolvendo três classes de solos, cinco graus de compactação e duas cultivares de feijoeiro.

Foram utilizadas amostras de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, textura média (LVAd1), coletadas no município de Itumirim-MG, e de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, textura argilosa (LVAd2) e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVdf), coletadas no município de Lavras-MG (Tabela 1). As amostras de cada classe de solo foram divididas em subamostras de 50 kg, as quais receberam calagem constituída pela mistura $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ na relação estequiométrica de 4:1 em dose necessária para elevar a saturação por bases de cada solo a 65%. Após a calagem, as amostras ficaram incubadas por 60 dias, mantendo-se cada classe de solo com aproximadamente 80% da umidade correspondente à capacidade de campo. Após a incubação, as amostras foram novamente secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneiras de 5,0 mm.

Em seguida, cada quilo dos solos recebeu a adubação mineral, que consistiu de 300 mg de P (superfosfato simples), 100 mg de N (uréia), 100 mg de K (cloreto de potássio), 120 mg de S ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.), 8,25 mg de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a.), 1,65 mg de B (H_3BO_3 p.a.), 0,825 mg de Cu (CuSO_4 p.a.) e 0,33 mg de Mo (molibdato de amônio). Posteriormente, foram aplicados 230 mg de N (uréia) e 65 mg de K (cloreto de potássio), divididos em duas coberturas, aos 15 e 25 dias após semeadura.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de $3,98 \text{ dm}^3$, construído pela sobreposição de três anéis de PVC de 15 cm de diâmetro. O anel superior tinha altura de 10 cm (com 2 cm superiores livres, sem solo, destinados à irrigação), o intermediário, 10 cm, e o anel inferior, 5 cm de altura. Os anéis foram unidos por fita adesiva e o vaso, assim constituído, foi montado sobre uma placa de isopor.

Os cinco graus de compactação foram equivalentes a 50%, 65%, 75%, 87,5% e 100% da densidade máxima atingida por cada solo na curva obtida pelo "Proctor Normal", conforme Dias Júnior (1996). As densidades correspondentes aos graus de compactação foram, respectivamente, 1,06; 1,33; 1,59; 1,86 e $2,12 \text{ Mg.m}^{-3}$ no LVAd1; 0,97; 1,21; 1,46; 1,70 e $1,94 \text{ Mg.m}^{-3}$ no LVAd2 e 0,94; 1,17; 1,40; 1,64 e $1,87 \text{ Mg.m}^{-3}$ no LVdf. Em seguida, foram calculados o peso de solo seco e a umidade necessária à obtenção de cada nível de compactação, para cada classe de solo. Esses graus de compactação foram aplicados apenas no anel central de cada vaso, durante a sua montagem. Os anéis superior (0-8 cm) e inferior (18-23 cm) de cada vaso foram preenchi-

dos com o volume de solo necessário para atingir o primeiro grau de compactação de cada classe de solo. Durante a compactação, além do compactador manual, foi utilizada uma braçadeira de ferro fundido para proteger os anéis de PVC, evitando rachaduras nos mesmos.

As cultivares de feijoeiro utilizadas, Pérola e Aporé, ambas de grão tipo carioca, são recomendadas para o Estado de Minas Gerais. A 'Pérola' possui hábito de crescimento II / III (semi-ereto a prostrado), ciclo normal e resistência à mancha-angular, ferrugem e mosaico-comum. A 'Aporé' tem hábito de crescimento III (prostrado), ciclo normal e resistência à antracnose, ferrugem, mancha-angular e mosaico-comum (EMBRAPA, 1998).

Em cada vaso foram semeadas cinco sementes e, aos 8 dias após a emergência (DAE), foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente, procurando manter a umidade dos solos próxima aos 60% da porosidade total (Freire et al., 1980).

As duas plantas de cada vaso foram colhidas no final da maturação fisiológica, secas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C , até atingirem peso constante, determinando-se o acúmulo de massa seca na parte aérea, expresso em g.vaso^{-1} . Análises dos macronutrientes na massa seca da parte aérea foram realizadas de acordo com Sarruge & Haag (1974).

Os dados observados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos de cultivares e solos estudados por comparações múltiplas de médias (Tukey). Os efeitos dos graus de compactação foram avaliados pela análise de regressão (Gomes, 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou efeito significativo da interação grau de compactação x classes de solos sobre a concentração dos nutrientes N, P, K, Ca e S na parte aérea do feijoeiro. No caso do P, também houve efeito da interação graus de compactação x genótipos e, no caso do Mg, houve efeito significativo da interação tripla. Os genótipos diferiram quanto às concentrações de N, K e S e a interação genótipos x classes de solo foi significativa em relação às concentrações de Ca. O crescimento do feijoeiro, aferido pelo acúmulo de massa seca na parte aérea, foi influenciado pelos graus de compactação, mas esse efeito foi diferenciado nas diferentes classes de solo e genótipos.

A cultivar Pérola apresentou maior concentração de K na massa seca da parte aérea, enquanto a 'Aporé' mostrou maior concentração de N e S (Tabela 2) e Ca (Tabela 3).

TABELA 1 – Resultados de análises química e granulométrica de amostras dos solos utilizados, UFLA, Lavras-MG, 1997*.

Características	Solos					
	LVAd1		LVAd2		LVdf	
pH em água	5,2	AcM	4,8	AcE	4,2	AcE
P (mg.dm ⁻³)	1	MB	1	MB	2	MB
K (mg.dm ⁻³)	31	B	28	B	33	B
Ca (cmolc.dm ⁻³)	0,4	MB	1,1	B	0,4	MB
Mg (cmolc.dm ⁻³)	0,2	B	0,3	B	0,2	B
Zn (mg.dm ⁻³)	0,4		0,8		1,2	
S (mg.dm ⁻³)	1,3		2,5		5,2	
B (mg.dm ⁻³)	0,16		0,19		0,16	
Al (cmolc.dm ⁻³)	0,2	MB	0,4	B	1,9	A
H + Al (cmolc.dm ⁻³)	2,1	B	6,3	A	20,5	MA
S (cmolc.dm ⁻³)	0,7	B	1,5	B	0,7	B
t (cmolc.dm ⁻³)	0,9	B	1,9	B	2,6	M
T (cmolc.dm ⁻³)	2,8	B	7,8	M	21,2	MBo
m (%)	23	B	21	B	74	A
V (%)	24	B	19	MB	3	MB
C (dag.kg ⁻¹)	0,5	B	1,2	M	3,6	Bo
M. O. (dag.kg ⁻¹)	0,8	B	2,1	M	6,1	Bo
Areia (g.kg ⁻¹)	690		470		170	
Limo (g.kg ⁻¹)	90		110		130	
Argila (g.kg ⁻¹)	220		420		700	

*Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da UFLA e interpretações de acordo com Ribeiro et al. (1999). AcM = acidez média, AcE = acidez elevada, MA = teor muito alto, A = alto, MBo = muito bom, Bo = bom, M = médio, B = baixo e MB = muito baixo

TABELA 2 – Valores médios da concentração (dag.kg⁻¹) de N, K e S na parte aérea de duas cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1997*.

Cultivares	Nitrogênio	Potássio	Enxofre
Pérola	4,06 b	2,37 a	0,19 b
Aporé	4,19 a	2,15 b	0,23 a

*Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

À medida que aumentou o grau de compactação do solo, houve aumento linear e quadrático no acúmulo de N, respectivamente, nas classe de solos LVdf e

LVAd2 (Figura 1). Esse aumento de N na parte aérea do feijoeiro é atribuído ao maior acúmulo de nitrato nos solos, em razão da menor perda por lixiviação

quando se aumenta a compactação (Mandal et al., 1990). Na classe de solo LVAd1, o comportamento foi diferenciado, ocorrendo aumento no teor de N até o grau 70,20% (DS= 1,49 Mg.m⁻³), com posterior redução, comportamento que também foi constatado por Pedrotti et al. (1994) nas culturas de arroz de sequeiro e milho.

A maior concentração de N na parte aérea do feijoeiro ocorreu no LVAd1, solo que atingiu a maior compactação (2,12 Mg.m⁻³), seguido pelo LVAd2 (1,94 Mg.m⁻³) e LVdf (1,87 Mg.m⁻³), sugerindo menor lixiviação de N nos solos mais arenosos, os quais apresentaram os maiores graus de compactação (Figura 1).

A concentração de P no LVdf (Figura 2) aumentou de forma quadrática, atingindo o máximo no grau de

compactação 74,14% (DS= 1,39 Mg.m⁻³), o que pode ser devido ao maior contato solo-raiz; a partir desse ponto ocorreu redução no teor de P. No LVAd2, a redução nos teores de P com o aumento do grau de compactação foi linear, por causa do menor crescimento das raízes, em função da menor porosidade e/ou maior adsorção de P nesse solo. Resultado semelhante foi observado por Corrêa et al. em cana-de-açúcar (2001a) e cafeeiro (2001b). No LVAd1, houve redução quadrática do teor de P até o grau 81,86% (DS= 1,74 Mg.m⁻³), com pequeno acréscimo a partir desse ponto, devido a um contato mais íntimo entre solo e raiz no anel superior, onde houve maior acúmulo de raízes.

TABELA 3 – Valores médios da concentração de Ca na parte aérea das cultivares Pérola e Aporé, em três classes de solo. UFLA, Lavras – MG, 1997*.

Solos	Pérola	Aporé	Médias
LVdf	3,96 b B	4,60 b A	4,28 b
LVAd2	3,80 b B	4,05 c A	3,92 c
LVAd1	4,65 a B	5,40 a A	5,03 a
MÉDIA	4,14 B	4,68 A	4,41

*Médias seguidas por letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

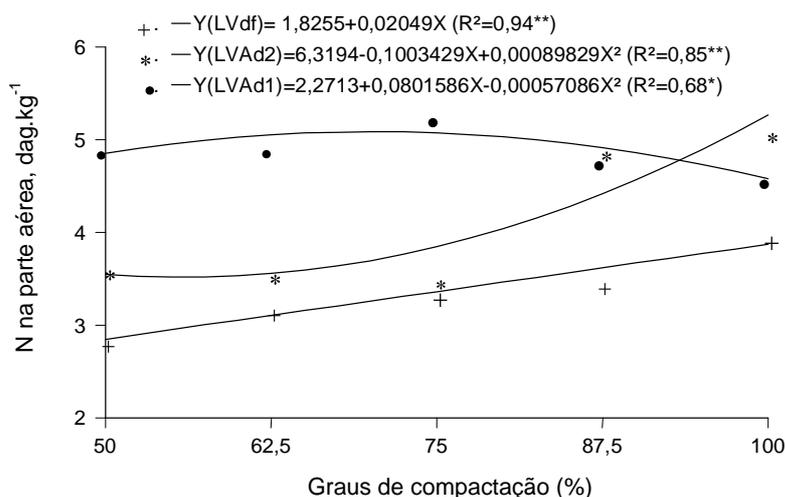


FIGURA 1 – Concentração de nitrogênio na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras - MG, 1997.

A concentração de P na parte aérea da cultivar Pérola aumentou com a compactação do solo até o grau de 67,13% e, depois, diminuiu, ao passo que na cultivar Aporé houve redução linear na concentração de P com o incremento do grau de compactação (Figura 3). Essa diferença de comportamento entre as cultivares pode ser relacionada ao maior desenvolvimento radicular da cultivar Pérola (Alves et al., 2001), que teria facilitado a absorção de fósforo e também de potássio (Tabela 2), nutrientes que se movem até as raízes, predominantemente pelo processo de difusão. Conforme será discutido mais adiante, a cv. Pérola superou a 'Aporé' e manteve maior concentração de massa seca na parte aérea com o incremento da compactação (Figura 8).

Na Figura 4, observa-se que houve acréscimo na concentração de K quando aumentou o grau de compactação, nas três classes de solos. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da concentração de raízes no anel superior, o que resulta em maior absorção pelos mecanismos de contato, interceptação e difusão, mas também pela menor lixiviação de K nos maiores graus de compactação. As diferenças na concentração de K entre as classes de solos pode ser atribuída ao maior teor de areia no LVAd1, seguido pelo LVAd2. Solos com maior quantidade de areia têm menor adsorção de nutrientes e, portanto, maior disponibilidade desses na solução do solo.

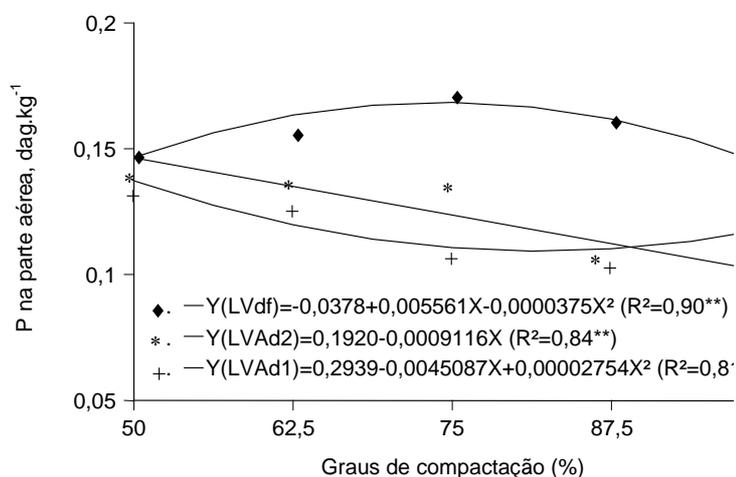


FIGURA 2 – Concentração de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras - MG, 1997.

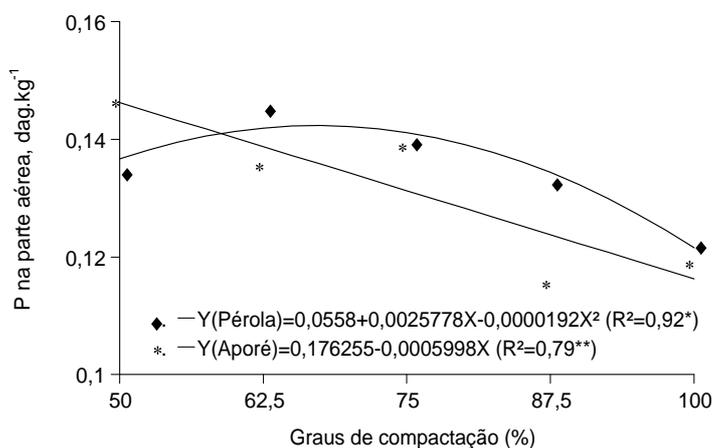


FIGURA 3 – Concentração de fósforo na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e cultivares. UFLA, Lavras - MG, 1997.

Trabalhos desenvolvidos por Corrêa et al. (2001a, b) com os mesmos solos e metodologia aqui utilizados detectam comportamento similar das concentrações de K, apesar das diferentes culturas (cana-de-açúcar e cafeeiro). A cultivar Pérola apresentou maior concentração de K que a 'Aporé' (Tabela 2), o que pode estar relacionado ao seu sistema radicular mais vigoroso (Alves et al., 2001) ou a outra diferença fisiológica, que lhe proporcionaria maior absorção de íons dependentes da difusão (Tabela 2).

Na classe de solo LVAd1, as cultivares apresentaram maior acúmulo de Ca na massa seca da parte aérea (Tabela 3), certamente em razão da maior disponibilidade de Ca na solução do solo, conseqüência da

menor adsorção de íons nesse solo. Na Figura 5 observa-se que a concentração de cálcio nos primeiros níveis de compactação no LVAd1 é mais elevada, mostrando que nos níveis mais baixos, a compactação foi benéfica, e que a partir de certo grau de compactação, houve decréscimo na concentração do nutriente, caracterizando um modelo cúbico. Nos outros dois solos, o comportamento da concentração de Ca foi quadrático, com pequenas reduções até os graus 75,00% (DS= 1,4 Mg.m⁻³) e 67,16% (DS= 1,3 Mg.m⁻³), no LVdf e LVAd2, respectivamente, elevando em pequena magnitude a concentração de Ca na parte aérea do feijoeiro, daí até o grau máximo de compactação.

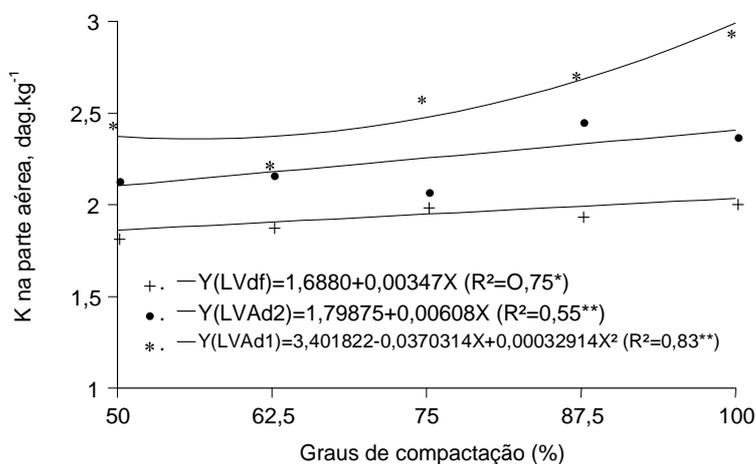


FIGURA 4 – Concentração de potássio na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras - MG, 1997.

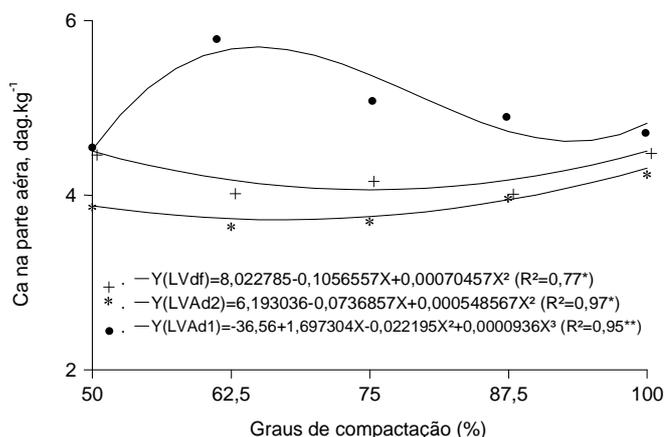


FIGURA 5 – Concentração de cálcio na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras - MG, 1997.

O desdobramento da interação tripla mostrou efeito significativo dos graus de compactação sobre a concentração de Mg na parte aérea da cv. Aporé nas três classes de solo e da cv. Pérola no LVAd1 (Figura 6). Em geral, os solos mais arenosos (LVAd1 e LVAd2) apresentaram maior concentração do nutriente (Figura 6), provavelmente devido à menor adsorção encontrada nesses solos, relacionada não só ao teor de areia, mas também à menor concentração de matéria orgânica observada nesses solos (Tabela 1). A cultivar Aporé no solo LVAd1 teve ponto de máxima concentração no grau de compactação 67,13% (DS= 1,42 Mg.m⁻³), indicando que a compactação foi benéfica até este ponto. A cultivar Pérola, no mesmo solo, teve um ajuste cúbico, mas com comportamento parecido ao da Aporé, ou seja, aumento inicial no teor de Mg e posterior decréscimo até próximo à densidade máxima. No LVAd2, a concentração de Mg no feijoeiro teve ajuste linear, indicando que a crescente compactação foi benéfica para a absorção desse nutriente. Já na classe LVdf, a cultivar Aporé mostrou comportamento mais diferenciado, ocorrendo redução até o grau 72,39% (DS= 1,35 Mg.m⁻³), com posterior acréscimo (Figura 6).

O estudo da interação classes de solo x graus de compactação revelou efeito significativo dos graus de compactação sobre as concentrações de S na parte aérea do feijoeiro apenas nas classes LVAd1 e LVAd2 (Figura 7).

No LVAd1, ocorreu ponto de máxima concentração no grau de compactação 85,08% (DS= 1,8 Mg.m⁻³

³). Por se tratar de solo com alta porcentagem de areia e baixo teor de matéria orgânica, grande parte do S adicionado na adubação fica disponível à absorção radicular, o que pode ser explicado pela menor adsorção desse nutriente no solo. Quando se eleva o grau de compactação, reduzem-se as perdas de sulfatos por lixiviação, aumentando a disponibilidade do nutriente até o grau de compactação 85%. Já no LVAd2, ocorreu redução no teor de S até o grau 73,96% (DS= 1,44 Mg.m⁻³), redução também observada por Corrêa et al. (2001b) em cafeeiro. A posterior elevação do teor de S na parte aérea do feijoeiro também poderia ser explicada pela redução na lixiviação de sulfatos em função da crescente compactação. Os pontos observados a partir do segundo grau de compactação tiveram nítido aumento linear da concentração de S na parte aérea do feijoeiro (Figura 7).

O efeito dos graus de compactação sobre o acúmulo de massa seca da parte aérea pode ser observado na Figura 8. O desdobramento da interação tripla não mostrou efeito significativo dos graus de compactação na classe de solo LVAd1. Na classe LVdf, a cultivar Pérola mostrou redução linear no crescimento da parte aérea. Nas demais situações, o comportamento foi quadrático, ou seja, com aumento da massa seca da parte aérea até grau de compactação próximo a 70%, com tendência geral de redução da massa seca da parte aérea a partir dos maiores graus de compactação (Figura 8), certamente em função do menor desenvolvimento das raízes nesses últimos graus de compactação, conforme encontraram Alves et al. (2001).

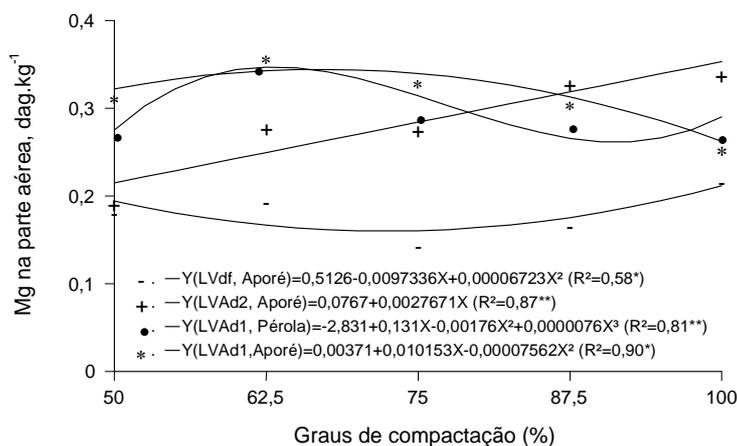


FIGURA 6 – Concentração de magnésio na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação, classes de solos e cultivares. UFLA, Lavras - MG, 1997.

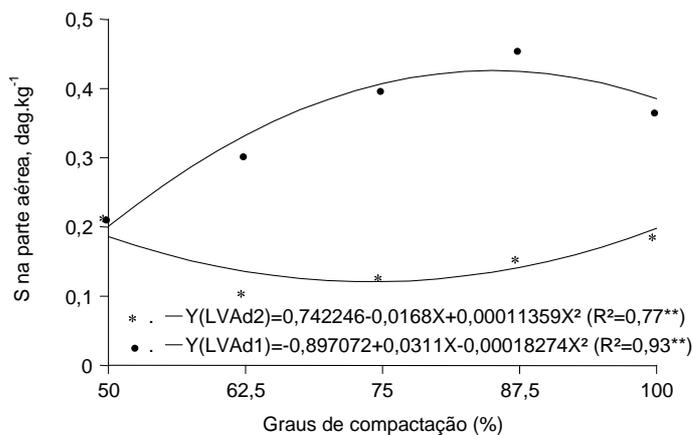


FIGURA 7 – Concentração de enxofre na parte aérea do feijoeiro, em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras - MG, 1997.

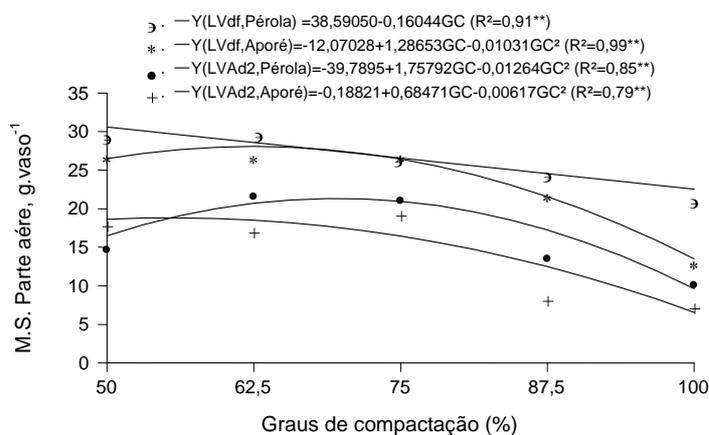


FIGURA 8 – Massa seca da parte aérea do feijoeiro (cvs. Aporé e Pérola), em função de diferentes graus de compactação e classes de solo. UFLA, Lavras-MG, 1997.

CONCLUSÕES

a) Nutrientes mais móveis no solo, como N, K e S, sujeitos à lixiviação, em geral, tiveram suas concentrações aumentadas na massa seca da parte aérea do feijoeiro com o aumento do grau de compactação do solo.

b) A concentração de P, nutriente sujeito à fixação no solo, sofreu redução na massa seca da parte aérea do feijoeiro com o incremento do grau de compactação do solo.

c) O incremento do grau de compactação reduziu o crescimento do feijoeiro.

d) Os efeitos do grau de compactação foram diferenciados nas três classes de solo estudadas. No caso

das concentrações de P e Mg, os efeitos também variaram conforme a cultivar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. G.; ANDRADE, M. J. B.; CORRÊA, J. B. D.; MORAIS, A. R.; SILVA, M. V. Crescimento e produção de vagens do feijoeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1051-1062, set./out., 2001.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WHORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIA E ESTUDO DE CASOS, 1999. *Anais...* [S.l.: s.n.], 1999. p. 57-88.

- CORRÊA, J. B. D.; ANDRADE, L. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ALVES, V.G. Influência da compactação na concentração de nutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar, em três tipos de solos. **REVISTA STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, p. 34-37, 2001a.
- CORRÊA, J. B. D.; MELO, de B.; SOUZA, C. A. S.; ALVES, V.G. Concentração de macronutrientes na parte aérea do cafeeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: [s.n.], 2001b. CD-ROM
- CORRÊA, J. B. D.; MELO, de B.; SOUZA, C. A. S.; ALVES, V.G. Micronutrientes na parte aérea do cafeeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: [s.n.], 2001c. CD-ROM
- DIAS JÚNIOR, M. de S. **Notas de aulas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 168 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão. **Informativo Anual das Comissões Técnicas Regionais de Feijão**: cultivares de feijão recomendadas para plantio no ano agrícola 1998/99. Goiânia, 1998. 29 p.
- FREIRE, J. C., RIBEIRO, M. A. V.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 5–8, 1980.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990. 460 p.
- GUPTA, S. C.; HADAS, A.; VOOHEERS, W. B.; WOLF, D.; LARSON, W. E.; SCHNEIDER, E. C. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. L.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOOHEERS, W. B.; GUPTA S. C. (Ed.). **Mechanical and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishes, 1989. p. 137-152.
- JUANG, T. C.; UEHARA, G. Effects of ground-water table and soil compaction on nutrient element uptake and growth of sugar cane. **Proceedings Internation of Society Canadian Technology**, v. 58, p. 679-87, 1969.
- MANDAL, D. K.; KAR, S.; SHARMA, S. K. Effect of compactation on nitrogen mobility in coarse textured lateritic soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 38, n. 1, p. 145-147, 1990.
- PEDROTTI, A.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A. Absorção de nutrientes em diferentes níveis de compactação de um planossolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA/CPTASA, 1994. p. 302-304.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- RIBEIRO, M. A. V.; FABRES, A. S.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M. Efeito de compactação do solo e níveis de fósforo sobre o crescimento de soja em casa de vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., 1985, Belém. **Programa e resumos...** Campinas: SBPC, 1985. p. 125.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.
- VEPRASKAS, M. J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R. E. **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 263-287.