

**PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE
MACRONUTRIENTES POR FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.),
EM DOIS SOLOS SUJEITOS À COMPACTAÇÃO***

O. Primavesi **

F.A.F. de Mello ***

T. Muraoka ****

RESUMO

Foi realizado um experimento em casa-de-vegetação com terra do horizonte A de um Oxisol (LR) e de um Alfisol (PVp) sem e com adubo mineral, confinada em vasos com capacidade para 3,8 litros, plantada com dois cultivares de feijoeiro.

As terras foram submetidas à compactação e mantidas à umidade entre 100 a 300 mbares de tensão. Foram feitas colheitas à florada e ao final do ciclo (67 dias após a emergência).

Verificou-se variação diferencial de a
cúmulo de matéria seca em função do

* Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba. Entregue para publicação em 28/12/84.

** CPG Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ, USP; Bolsista da EMBRAPA.

*** Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.

**** Seção de Fertilidade do Solo, CENA, USP, Piracicaba.

cultivar, estágio da cultura, nível de fertilidade e de compactação do solo.

De uma maneira geral, no final do ciclo vegetativo o acúmulo de matéria seca estava relacionado à macroporosidade existente no solo, parecendo haver uma faixa ideal para o acúmulo máximo, aquém ou além do qual ele tende a decrescer. A influência maior da compactação ocorreu nas parcelas adubadas.

Na parte aérea ocorreu tendência genérica de aumento na concentração de Mg (até 26,3%), além de Ca e N, e redução de K. Nas raízes, aumentos de Mg e K, bem como redução de N.

No final do ciclo, verificou-se a tendência de acúmulo de Mg e redução de K e N na parte aérea, e de redução de Ca, P e N nas raízes, considerando o Oxisol. No Alfisol constatou-se uma tendência genérica de aumento no acúmulo de Mg e N e de redução de K na parte aérea, bem como de redução na extração de Ca e K pelas raízes.

INTRODUÇÃO

É fato conhecido que geralmente a produção de matéria seca da parte aérea vegetal se correlaciona positivamente com o desenvolvimento radicular (PHILLIPS & KIRKHAM, 1962; Charreau, 1971, citado por SANCHEZ, 1977).

O aumento da compactação de um solo, ao lado da relação água/ar e temperatura, pode reduzir o desenvolvimento radicular (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1948; DAY & HOLMGREEN, 1952; WIERSUM, 1957; BERTRAND & KOHNKE, 1957; ZIMMERMANN & KARDOS, 1961; PHILLIPS & KIRKHAM, 1962; AU

BERTIN & KARDOS, 1965; WITTSELL & HOBBS, 1965; GROHMANN & QUEIROZ NETO, 1966; LOWRY *et alii*, 1970; TAYLOR, 1974; CASTILLO *et alii*, 1982).

Pode ocorrer redução na produção de matéria seca vegetal devido a problemas de drenagem e aeração, causados pela redução dos poros de aeração (WATSON Jr. *et alii*, 1951; McKEE & LANGILLE, 1967), bem como devido à produção de substâncias tóxicas (ROWE & BEARDSSELL, 1973; BERGMANN, 1981).

Autores (RUSSEL, 1963; Watts *et alii*, 1973, citados por PRIMAVESI, 1980; PRIMAVESI *et alii*, 1984a) informam sobre a influência da falta de arejamento e compactação do solo sobre a disponibilidade de nutrientes na camada arável dos solos.

Outros autores (CINTRA, 1980; BERGMANN, 1981; CASTILLO *et alii*, 1982) informam sobre problemas com a absorção de certos nutrientes pelas plantas devido à compactação, e suas consequências sobre a dinâmica água/ar ou o prejuízo mecânico das raízes. LABANAUSKAS *et alii* (1968) citam a redução na concentração de N, P, K, Ca, Mg na parte aérea e de K e Mg nas raízes de mudas de abacateiro. Os autores acima alertam sobre a variação no acúmulo de macronutrientes em diversas culturas, ocorrendo geralmente redução na extração, na ordem decrescente, de K, N, P, Mg e Ca.

Alguns autores conseguiram contornar o problema com o emprego de fertilizantes (PHILLIPS & KIRKHAM, 1962) e fertilizantes mais água (WITTSELL & HOBBS, 1965).

O presente trabalho visa verificar a influência da compactação de dois solos, sem e com adubo mineral, sobre a produção de matéria seca vegetal, a concentração e o acúmulo de macronutrientes em dois cultivares de feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois cultivares de feijoeiro, Rico Pardo 896 e A-roana 80, foram cultivados sobre terra do horizonte A de um Latossolo Roxo, Série Iracema (LR), e de um Podzólico Vermelho Amarelo var. Piracicaba (PVp), apresentando 3 níveis de compactação, sem e com adubo mineral, em casa-de-vegetação.

A TFSA foi acondicionada em vasos metálicos cilíndricos sem dreno, com 16,5 cm de diâmetro e 18 cm de altura (3,8 litros).

Os tratamentos com adubo mineral visavam alcançar uma saturação em bases de 80% (numa relação Ca:Mg:K de 9:3:1), e elevar o nível de P disponível acima de 15 ppm. Ainda foram aplicados 40 kg de N/ha (1/3 no plantio e 2/3 aos 24 dias após a emergência) na forma de uréia, e 20 kg de sulfato de zinco/ha.

A Tabela 1 apresenta os dados de análise química do solo.

Tabela 1. Dados de análise química das terras utilizadas.

solo	pH	C	PO_4^{3-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Al^{3+}	H^+
	água	%e.mg/100 g TFSA.....					
LR	6,0	1,12	0,11	5,08	1,12	0,12	0,14	4,75
PVp	5,5	0,44	0,02	3,20	0,64	0,07	0,58	2,88

Após determinar a umidade ideal para a máxima compactabilidade foram realizados os tratamentos de compactação com níveis de resistência mecânica ao penetrômetro de cone de 0-8,8-17,6 kg/cm² (BRUCE, 1955; CINTRA, 1980; PRIMAVESI, 1983).

A umidade nos vasos foi mantida numa faixa de tensão entre 100 a 300 mbares.

No dia 23/12/82 foram semeadas 5 sementes (peletizadas com *Rhizobium phaseoli*) por vaso, posteriormente raleadas para 3 plantas. As sementes foram cobertas com uma camada de 3 cm de terra solta. Foram realizadas coletas de material vegetal à florada e aos 67 dias após a emergência. O material após colhido, limpo e seco em estufa com ventilação forçada a 60°C, foi pesado e moído. As raízes foram coletadas após lavagem da terra, ao final do ciclo, em peneira com malha de 2 mm de diâmetro.

As análises químicas do solo foram realizadas segundo metodologia descrita por CATANI & JACINTHO(1974).

As análises físicas dos solos seguiram as metodologias descritas por SCARDUA (1974) para a densidade do solo e macroporosidade, pelo método do anel volumétrico.

As análises químicas vegetais seguiram a metodologia descrita por SARRUGE & HAAG (1974) para a digestão e determinação de N e K, e por RUTLEDGE & McCLURG(1980) para as determinações de P, Ca, Mg, através de análise por emissão com plasma induzido de argônio.

O delineamento estatístico foi um fatorial 3 x 2 x 2, em blocos ao acaso, com 4 repetições, sendo cada solo um experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a densidade do solo e a macroporosidade para os 3 níveis de compactação de cada amostra de terra.

Tabela 2. Densidade do solo e macroporosidade, em função do nível de compactação (médias de 4 repetições).

solo	N.C.	densidade do solo	macroporosidade(%)	
			total	efetiva
LR	0	1,14	20,1	18,4
	1	1,30	11,3	9,8
	2	1,36	8,9	6,5
PVp	0	1,42	9,2	7,7
	1	1,49	5,8	4,9
	2	1,63	3,3	3,1

Obs: N.C.= nível de compactação; macroporosidade efetiva= total - poros bloqueados.

A. Produção de Matéria Seca

As Figuras 1 e 2 apresentam a produção de matéria seca dos 2 cultivares de feijoeiro.

Analisando as respostas dos feijoeiros no LR, verifica-se para o acúmulo de matéria seca, na florada, que Rico Pardo (Figura 1) e Aroana (Figura 2), nas parcelas sem/com adubo, apresentaram respectivamente as seguintes variações: -14,6/43,9% e 11,8/-16,1%, considerando os níveis 0 e 2 de compactação.

No final do ciclo praticamente não ocorreram variações nas parcelas sem adubo, apresentando resposta quadrática nas parcelas com adubo, sendo, respectivamente, para Rico Pardo e Aroana de 31,6 para -12,5% e 19,9 para -5,1%, considerando os níveis 0/1 e 1/2 de compactação.

A adubação mineral ampliou as diferenças entre níveis de compactação. Por outro lado, pode ser verifica-

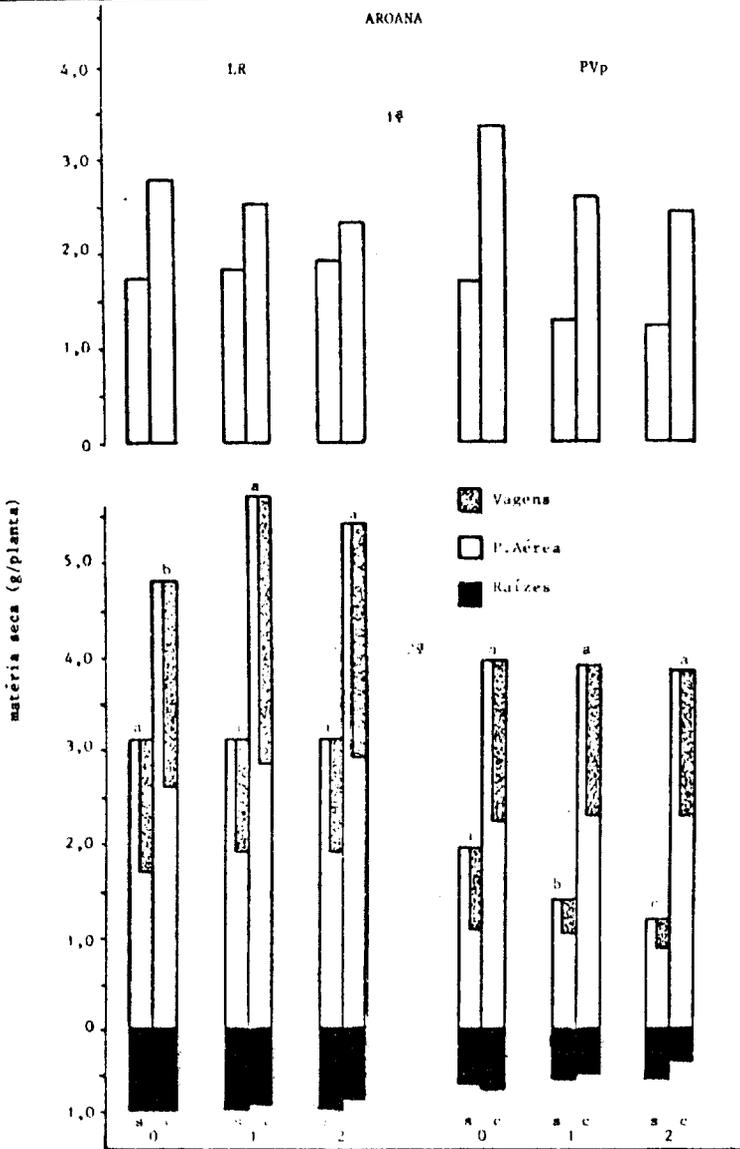


Figura 2. Acúmulo de matéria seca na florada (1ª) e no final de ciclo (2ª): raízes e parte aérea (vagens). (s/c= sem e com adubo); 0-1-2= níveis de compactação; letras na parte aérea indicam significâncias estatísticas.

do um aumento médio (com adubo sobre sem adubo) para os 3 níveis de compactação de 72,3% para Rico Pardo e 71,2% para Aroana, considerando a parte aérea no final do ciclo, que até a florada foi de 28,0 a 39,4%, respectivamente.

O sistema radicular apresentou tendência de reduzir com o aumento da compactação, para os 2 cultivares. A amplitude de redução foi maior para as parcelas adubadas, sendo maior para Rico Pardo (com maior sistema radicular) que para Aroana, com respectivamente 24,8 / 30,2% e 1,1/7,9% (sem/com adubo), considerando os níveis 0 e 2 de compactação. A adubação promoveu um aumento médio de produção de raízes de 40,7% para Rico Pardo e uma redução média de produção de 3,4% para Aroana.

Observando as respostas no PVp, horizonte Ap, notam-se as seguintes variações na matéria seca, na florada, em Rico Pardo e Aroana, respectivamente: -15,9 / -25,7% e -22,6/-27,2% (sem/com adubo), considerando os níveis 0 a 2 de compactação. A diferença média entre parcelas com/sem adubo foi de 115,6% para Rico Pardo e 96,5% para Aroana.

Até o final do ciclo da cultura o acúmulo de matéria seca da parte aérea, com o aumento da compactação, nas parcelas sem/com adubo, foi de: -9,2/-4,6 para Rico Pardo e -39,2/-2,2% para Aroana. A adubação promoveu um aumento médio sobre as parcelas sem adubo de 174,3% para Rico Pardo e 160,0% para Aroana.

Considerando o sistema radicular, colhido ao final do ciclo, verifica-se reduções para Rico Pardo e Aroana, de respectivamente 27,6/38,6% e 5,1/45,3% (sem/com adubo), com o aumento da compactação. A adubação promoveu aumentos respectivos de 9,2% e 14,6% em relação às parcelas sem adubo mineral.

No PVp nota-se uma diferença inicial maior entre níveis de compactação para as parcelas adubadas, mas que diminui para o final do ciclo, no caso da parte aé-

rea. Considerando o sistema radicular, a amplitude de redução é maior nas parcelas adubadas.

Para os dois solos, ao final do ciclo, o comportamento das raízes foi o de reduzir seu volume com o aumento da compactação, principalmente nas parcelas adubadas. E de redução para a parte aérea a partir de uma macroporosidade ótima, com destaque para as parcelas adubadas.

Procurando explicação para as respostas diferenciais, principalmente no LR, e alterações durante o ciclo vegetativo, em função da adubação, verificou-se que devem ser considerados:

- a) **o estágio vegetativo:** as uniformizações entre os níveis de compactação, para os 2 cultivares, podem ser devidos ao fato dos feijoeiros terem sido cultivados em vasos com capacidade para somente 3,8 litros de terra, o que pode limitar o desenvolvimento completo normal do sistema radicular, permitindo, às vezes, uniformizações de resultados entre tratamentos diferentes. Em estudos a campo, talvez estas uniformizações de resultados, como nas parcelas sem adubo ao final do ciclo para Rico Pardo, não ocorram, ainda mais que não haveria a regularidade no fornecimento de água, como em ensaios de casa-de-vegetação. Ainda deve ser levado em conta que no estágio inicial as raízes de todos os tratamentos cresceram em 3 cm superficiais de terra solta, equivalente ao nível 0 de compactação.
- b) **porosidade:** a redução da macroporosidade, com o aumento da compactação, irá afetar o equilíbrio água/ar, e assim os processos de absorção de água e nutrientes, além de poder reduzir a superfície ativa do sistema radicular, necessária à absorção. Em solos com grande porcentagem de macroporos e que geralmente apresentam problemas no fornecimento de água (e nutrientes) a compactação geralmente é benéfica, até o ponto em que inicia a prejudicar a aeração.

- c) **adubação:** a redução dos macroporos pode promover não somente um pior arejamento do sistema radicular, mas também uma concentração de sais na solução do solo, mais intensamente nas parcelas adubadas. Esta concentração pode ser benéfica quando ocorre exigência e/ou tolerância por parte da cultura, e pode ser nociva quando prejudicar a absorção de água e nutrientes por algum motivo, como através da inversão do local de menor potencial osmótico. Este aumento de concentração salina vai promover resultados diferenciais em função do cultivar utilizado ser mais ou menos tolerante a ela.
- d) **eficiência nutricional do cultivar e capacidade de acúmulo:** esta propriedade de um cultivar poder fazer determinado nutriente render mais eficientemente ou acumular mais que outro cultivar, é um dos fatores do comportamento diferencial em resposta a um determinado ambiente e seu nível de nutrientes e água, e que pode ser alterado pela adubação e a compactação (PRIMAVESI *et alii*, 1984b).
- e) **vigor radicular:** o cultivar que apresentar maior desenvolvimento radicular, poderá explorar maior volume de solo e, com isso, encontrar maior volume de água e nutrientes por unidade de tempo.

A resposta quadrática no LR (também verificada por CINTRA, 1980, em um Oxisol), da parte aérea, pode encontrar explicação no fato do nível 1 de compactação apresentar 11,33% de macroporos (relação micro/macroporos de 4:1), contra 20,13% do nível 0 e 8,8% do nível 2, e que pode ser adequado para o suprimento normal de água e nutrientes para as plantas, nas condições vigentes. No PVp o nível 0 de compactação correspondeu a 9,15% de macroporos contra 3,34% do nível 2, mostrando tendência decrescente de acúmulo de matéria seca. ROVIRA (1975) informa que encontrou crescimento bom de raízes de feijoeiro com 14,4% de macroporos, e ruim com 7,4%.

A redução do sistema radicular com o aumento da compactação poderia ser explicado por um maior impedimento ao seu desenvolvimento, não tanto mecânico, porém mais por redução da aeração (equilíbrio água/ar), e que pode ser agravado por um maior teor de sais solúveis no solo (MARCOS & FREIRE, 1980), como sugerem as parcelas adubadas.

Pelo visto, é aconselhável acompanhar a resposta do cultivar até o final do ciclo, pois observações precoces podem levar a conclusões errôneas sobre a macroporosidade adequada ao crescimento vegetal, considerando, inclusive, a produção, quando possível. Principalmente quando for mantida uma camada de terra solta na superfície.

B. Concentração de Macronutrientes

A Tabela 3 apresenta os teores de macronutrientes na parte aérea, e a Tabela 4 nas raízes.

Comparando os teores de macronutrientes das Tabelas 3 e 4, em função dos níveis de compactação 0 e 2 (1 e 2 para LR com adubo), verificam-se diversas tendências de variação na parte aérea à florada, e parte aérea e raízes ao final do ciclo.

a) nitrogênio

O teor de N na parte aérea no LR, à florada, apresenta aumentos (15,0% para Rico Pardo e 8,8% para Aroana) nas parcelas sem adubo e reduções (-20,3% Rico Pardo e -7,0% Aroana) nas adubadas.

No final do ciclo, a variação nas parcelas sem adubo foi de -5,4% para Rico Pardo e -5,6% para Aroana. Nas parcelas adubadas, com resposta quadrática no acúmulo de matéria seca, ocorreram as seguintes variações em

Tabela 3. Teor de macronutrientes (%) na parte aérea de feijoeiro, na florada (1^o) e final do ciclo (2^o).

M.C.	LR - 1 ^o			PVP - 1 ^o			LR - 2 ^o			PVP - 2 ^o			
	Rs	Rc	As	Rs	Rc	As	Rs	Rc	As	Rs	Rc	As	
N	0	2,60	2,86	2,39	2,73	2,77	1,68	2,24	1,98	2,57	2,26	2,34	2,12
	1	2,91	2,52	2,80	2,69	3,19	2,30	3,23	2,56	2,52	1,95	2,47	2,25
2	2,95	2,28	2,60	2,54	3,03	2,15	2,95	1,96	2,43	2,06	2,21	2,35	2,03
P	0	0,20	0,26	0,23	0,27	0,13	0,26	0,12	0,24	0,30	0,30	0,26	0,31
	1	0,21	0,23	0,27	0,28	0,13	0,27	0,13	0,27	0,30	0,31	0,28	0,26
2	0,18	0,22	0,22	0,25	0,13	0,27	0,12	0,27	0,14	0,30	0,31	0,30	
K	0	1,76	2,78	2,37	3,19	1,50	2,98	1,43	2,95	2,02	3,44	1,88	2,98
	1	1,90	2,78	2,48	3,35	1,37	3,06	1,71	2,83	1,94	2,76	1,85	2,60
2	2,05	2,41	2,28	3,10	1,08	2,63	1,46	2,37	1,71	3,11	1,79	2,68	
Ca	0	1,53	1,34	1,36	1,30	1,20	1,36	0,94	1,20	2,43	2,04	1,38	1,58
	1	1,67	1,60	1,55	1,58	1,30	1,71	1,22	1,29	2,43	1,83	1,60	1,73
2	1,77	1,53	1,81	1,64	1,32	1,42	1,26	1,23	2,41	1,95	1,64	2,07	
Mg	0	0,40	0,41	0,42	0,42	0,35	0,42	0,31	0,42	0,65	0,62	0,41	0,44
	1	0,43	0,48	0,50	0,52	0,41	0,62	0,43	0,46	0,66	0,60	0,47	0,49
2	0,46	0,51	0,51	0,51	0,44	0,53	0,48	0,48	0,71	0,64	0,48	0,58	

095: LR- Latossolo Amarelo; PVP- Podsolico Vermelho Amarelo var. Piracicaba; R/A- Rico Pardo/Aruana; s/c= sem/com adubo; 1^o e 2^o= colheita; R. C.= nível de compactação.

Tabela 4. Concentração de macronutrientes (%) nas raízes, final do ciclo de feijoeiro.

	N.C.	LR - 2 ^a				PVP - 2 ^a			
		Rs	Rc	As	Ac	Rs	Rc	As	Ac
N	0	2,58	2,91	2,48	2,73	2,41	2,40	2,64	2,19
	1	2,41	2,64	2,52	2,59	2,56	2,29	2,42	2,05
	2	2,25	2,74	2,56	2,26	2,32	2,26	2,36	2,04
P	0	0,22	0,32	0,19	0,26	0,16	0,27	0,17	0,21
	1	0,25	0,32	0,21	0,23	0,17	0,30	0,14	0,23
	2	0,24	0,30	0,21	0,23	0,17	0,27	0,16	0,22
K	0	0,27	1,87	0,14	0,41	0,46	0,51	0,24	0,25
	1	0,44	1,61	0,20	0,43	0,45	0,56	0,39	0,30
	2	0,32	0,74	0,20	0,48	0,45	0,58	0,29	0,34
Ca	0	1,50	1,15	1,93	1,36	1,00	1,30	1,12	1,04
	1	1,48	1,17	1,78	1,21	1,01	1,47	1,33	1,07
	2	1,40	1,17	1,75	1,19	1,25	1,40	1,28	1,23
Mg	0	0,19	0,24	0,15	0,18	0,28	0,27	0,21	0,21
	1	0,28	0,26	0,21	0,20	0,27	0,34	0,27	0,21
	2	0,26	0,26	0,20	0,19	0,41	0,36	0,29	0,28

OBS: R/A= Rico Pardo/Aroana; s/c= sem/com adubo; N.C.= Nível de Compactação.

tre os níveis 1 e 2: 5,6 e 4,4% para Rico Pardo e Aroana, respectivamente.

No caso das raízes, nas parcelas sem/com adubo, a variação foi de -12,8/-5,8% para Rico Pardo e 3,2 / -17,2% para Aroana.

A concentração de N no PVp, à florada, apresentou variação nas parcelas sem/com adubo, de 9,4/ 28,0% para Rico Pardo e 31,7/-1,0% para Aroana. No final do ciclo ocorreram aumentos de concentrações, maiores nas parcelas sem adubo: 26,5/13,8% para Rico Pardo e 26,1/ 5,7% para Aroana nas parcelas sem/com adubo mineral.

Considerando o sistema radicular, verificou-se redução nos teores de N (-3,7/-5,8% para Rico Pardo e -10,6/-6,8% para Aroana, nas parcelas sem/com adubo), apresentando a mesma tendência que no LR.

Os teores de N na parte aérea à florada variaram de 2,28 a 2,99% no LR e 1,68 a 3,23% no PVp. No final do ciclo variaram de 1,95 a 2,57% no LR e 1,73 a 3,09% no PVp. No sistema radicular, ao final do ciclo, a variação foi de 2,25 a 2,91% no LR e 2,04 a 2,64% no PVp.

b) Fósforo

O teor de P na parte aérea, no LR, à florada, apresentou tendências de redução (-10,0/-15,4%) para Rico Pardo e -4,3/-7,4% para Aroana, nas parcelas sem/com adubo), sendo mais intensas nas parcelas adubadas. No final do ciclo verificaram-se as seguintes variações nas parcelas sem/com adubo: 13,3/-3,2% para Rico Pardo e 19,2/15,4% para Aroana.

No sistema radicular a variação nas parcelas sem/com adubo para Rico Pardo e Aroana foi, respectivamente 9,1/-6,3% e 10,5/-11,5%.

No PVp, na parte aérea, à florada, praticamente não se verificou variações nas parcelas sem adubo, ocorrendo aumento nas parcelas adubadas para Rico Pardo (3,8%) e Aroana (12,5%). No final do ciclo, a concentração variou de modo oposto nas parcelas sem/com adubo para os cultivares Rico Pardo (-11,8/14,3%) e Aroana (-31,3/11,1%), mantendo uma tendência aproximada na fase da florada.

No sistema radicular praticamente não se verificou variação expressiva na concentração de P, com o aumento da compactação.

Os teores de P variaram, na parte aérea, na florada, de 0,18 a 0,28% no LR e 0,12 a 0,27% no PVp. No final do ciclo os teores variaram de 0,26 a 0,34% no LR e 0,11 a 0,32% no PVp, sendo, portanto, mais elevados no LR, considerando a fase da florada. Nas raízes, de 0,19 a 0,32% no LR e 0,14 a 0,30% no PVp.

c) Potássio

Os teores de K no LR, na parte aérea, à florada, apresentaram tendência de aumento (16,5%) nas parcelas sem adubo e redução (-13,3%) nas adubadas, considerando o cultivar Rico Pardo. O Aroana mostrou leve tendência de redução da concentração, independente de nível de fertilidade.

Já no final do ciclo, a tendência de variação de concentração nas parcelas sem/com adubo foi de -15,3 / 12,7% para Rico Pardo e -4,8/10,8% para Aroana.

No tocante ao sistema radicular, este apresentou aumento de concentração, principalmente nas parcelas sem adubo, chegando a ocorrer redução na parcela com adubo para Rico Pardo (18,5/-60,4% Rico Pardo e 42,8 / 17,1% Aroana, nas parcelas sem/com adubo).

No PVp, na parte aérea, à florada, verificou-se tendência geral de redução da concentração (-28,0/-11,7% Rico Pardo e 2,1/-19,7% Aroana, sem/com adubo). No final do ciclo a tendência de redução foi geral, sem/ com adubo (-21,5/-2,1% Rico Pardo e -3,1/-8,4% Aroana).

Nas raízes, ao final do ciclo, em termos genéricos ocorreu um aumento, mais intensamente nas parcelas adubadas (-2,2/13,7% Rico Pardo e 20,8/36,0% Aroana sem/ com adubo).

As concentrações de K variaram, na parte aérea, à florada, de 1,76 a 3,35% no LR e 1,08 a 3,06 no PVp. No final do ciclo a variação foi de 1,71 a 3,44% no LR e 1,35 a 3,50% no PVp. No sistema radicular, ao final do ciclo, variaram de 0,14 a 1,87% no LR e 0,25 a 0,58% no PVp.

d) Cálcio

As concentrações de Ca no LR, na parte aérea, à florada, acusaram aumentos (15,7/14,2% Rico Pardo e 33,1/26,2% Aroana, sem/com adubo), maiores nas parcelas sem adubo, com o aumento da compactação (níveis 0 e 2). No final do ciclo as tendências foram de elevação genérica (-1,0/6,6% Rico Pardo e 18,8/19,7% Aroana, sem/com adubo), mais expressiva nas parcelas adubadas.

No sistema radicular a tendência genérica foi de redução na concentração (-6,7/1,7% Rico Pardo e -9,3/-12,5% Aroana, sem/com adubo).

No PVp, à florada, a tendência foi de aumento (10,0/4,4% Rico Pardo e 34,0/2,5% Aroana, sem/com adubo), maior nas parcelas sem adubo. No final do ciclo continuou a mesma tendência de aumento (13,1/2,4% Rico Pardo e 36,8/15,8% Aroana sem/com adubo).

No sistema radicular a tendência foi de aumento

(25,0/7,7% Rico Pardo e 14,3/18,3% Aroana, sem/com adubo), independente de adubação.

A variação nos teores de Ca à florada foi de 1,34 a 1,81% no LR, e 0,94 a 1,71% no PVp. No final do ciclo de, 1,38 a 2,43% no LR e 1,14 a 2,18% no PVp. Nas raízes, de 1,15 a 1,93% no LR e 1,00 a 1,47% no PVp.

e) Magnésio

A tendência geral das concentrações de Mg foi de aumento, com o aumento dos níveis de compactação. Na parte aérea, à florada, foi de 15,0/24,4% Rico Pardo e 21,4/21,4% Aroana no LR, e 25,7/26,2% Rico Pardo e 54,8/14,3% Aroana no PVp, nas parcelas sem/com adubo. No final do ciclo, de 9,2/6,7% para Rico Pardo e 17,1/18,4% para Aroana no LR, e de 17,6/25,0% para Rico Pardo e 26,3/20,9% para Aroana no PVp. Nas raízes, de 36,8/8,3% Rico Pardo e 33,3/5,6% Aroana no LR, e 46,4/33,3% Rico Pardo e 38,1/33,3% para Aroana no PVp, sendo maior em ambos os solos nas parcelas sem adubo.

Os teores de Mg variaram, na parte aérea, à florada, de 0,40 a 0,52% no LR e 0,31 a 0,62% no PVp. No final do ciclo, de 0,41 a 0,71% no LR e 0,38 a 0,75% no PVp. Nas raízes, ao final do ciclo, de 0,15 a 0,28% no LR e 0,21 a 0,41% no PVp.

Em termos genéricos, considerando a parte aérea no final do ciclo, verifica-se uma tendência de aumento nos teores de Mg (atê 26,3%) com o aumento da compactação. Além do Ca (atê 36,8%) e N (atê 26,0%) no PVp e LR (com adubo). E reduções de K (atê 21,5%) no PVp e LR (sem adubo),

A nível de raízes, ao final do ciclo, constatou-se aumentos genéricos na concentração de Mg (atê 46,4%) e de K (atê 42,8%) em ambos os solos, e de Ca (atê 25,0%)

no PVp. Além de reduções genéricas de N.

C) Acúmulo de Macronutrientes

As figuras 3 e 4 apresentam a variação no acúmulo de macronutrientes, em função dos níveis de compactação, pelo cultivar Rico Pardo, e as Figuras 5 e 6 pelo cultivar Aroana, no LR, e no PVp Figuras 7-8 e 9-10 respectivamente.

Analisando os resultados em relação à variação da extração de macronutrientes, verificam-se diversas tendências:

a) Nitrogênio

O acúmulo de N na parte aérea, à florada, apresentou as seguintes tendências nas parcelas sem/com adubo: -3,5/16,3% para Rico Pardo e 16,7/-15,9% para Aroana. No final do ciclo foi de -2,7/-7,8% para Rico Pardo e -5,0/-1,0% para Aroana, sendo que nas raízes foi de -29,1/-1,6% para Rico Pardo e 2,1/-14,8% para Aroana, considerando o LR.

No PVp, considerando os cultivares Rico Pardo e Aroana, parte aérea à florada nas parcelas sem/com adubo, verifica-se que a variação na extração de N foi de -7,1/-5,3% e -2,6/-27,3%, e no final do ciclo de 15,9/8,6% e -23,3/3,3%. Já nas raízes de -30,3/-42,1% e -15,0/-49,1%.

b) Fósforo

No LR, o acúmulo de P na parte aérea à florada, para Rico Pardo e Aroana, respectivamente, variou de 125,0/25,0% e 0,0/-14,3%. No final do ciclo de 16,6/-9,0%

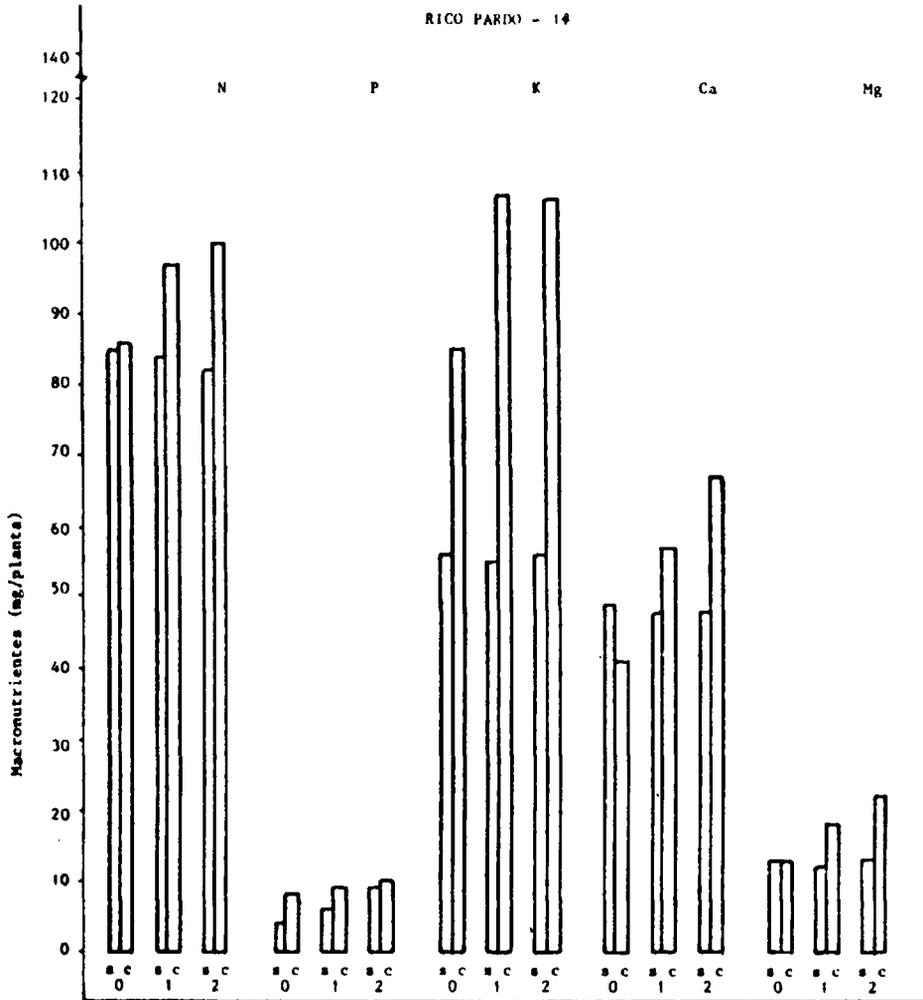


Figura 3 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea do feijoeiro Rico Pardo da florada (1ª colheita). OBS: s/c = sem/com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

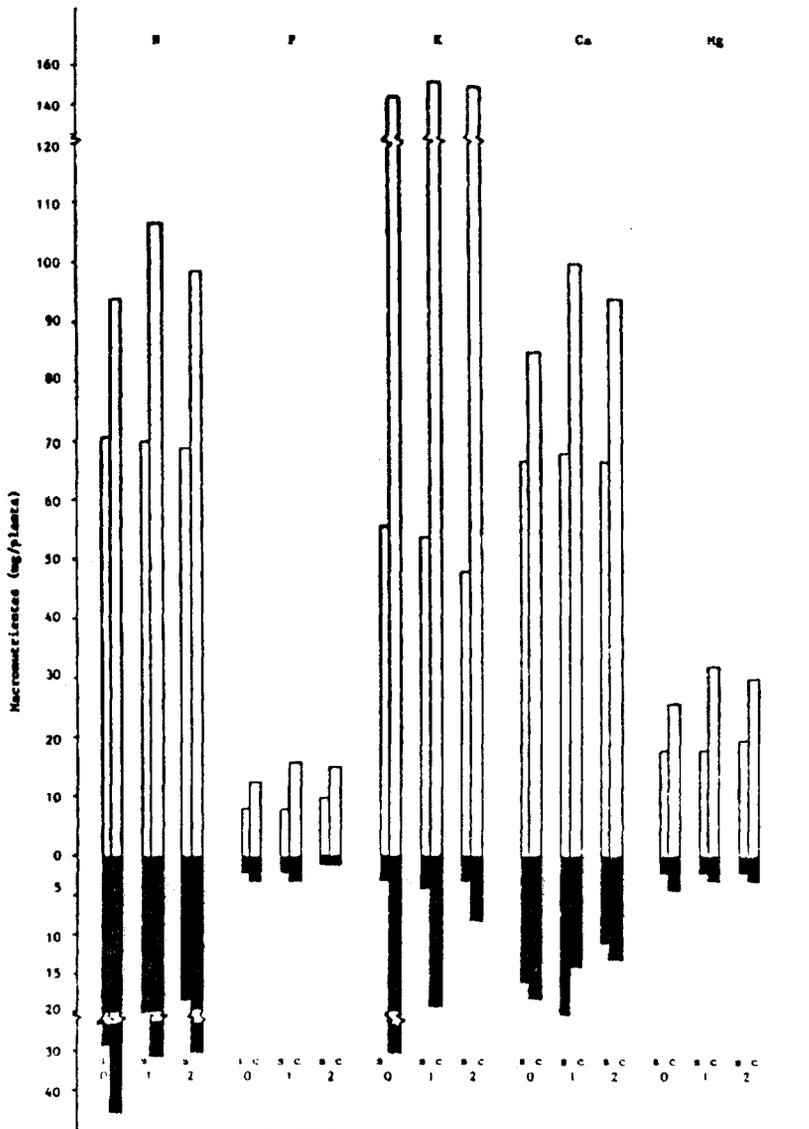


Figura 4- Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea e radicular do feijoeiro Rico Pardo ao final do ciclo (2ª colheita).
 OBS: s/c = sem adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

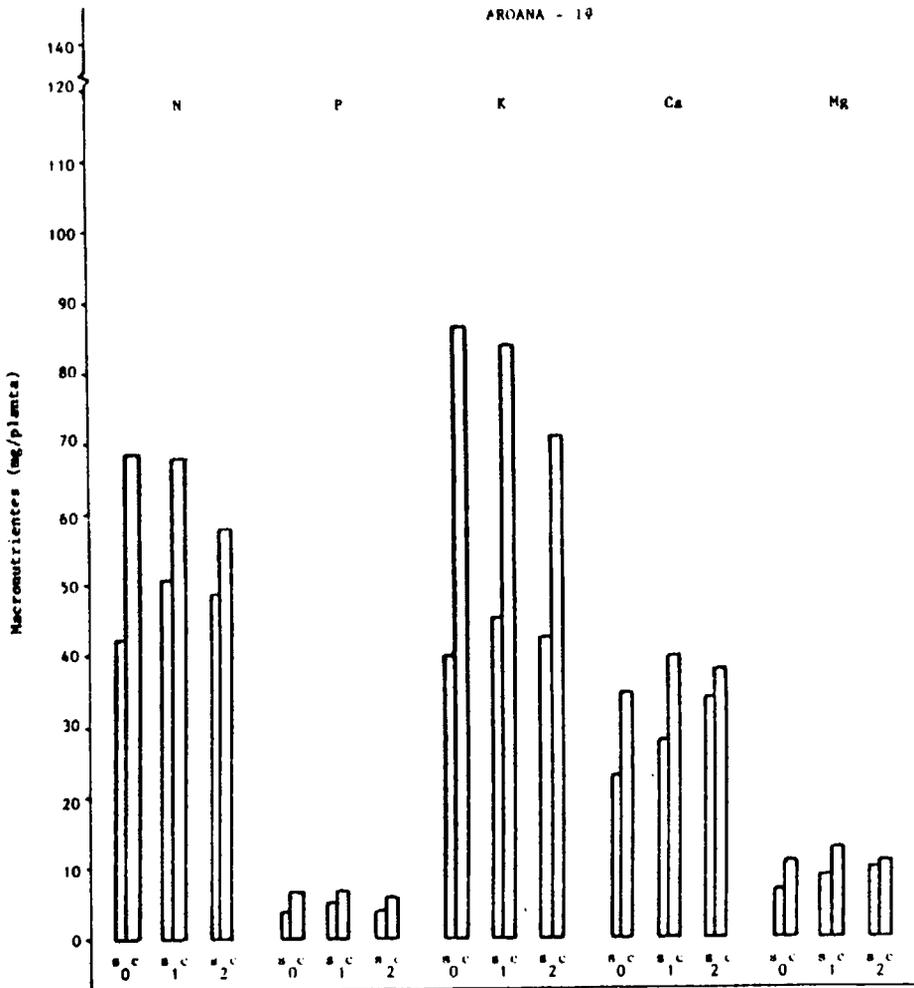


Figura 5 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea do feijoeiro Aroana na florada (1ª colheita)
OBS: s/c = sem/com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

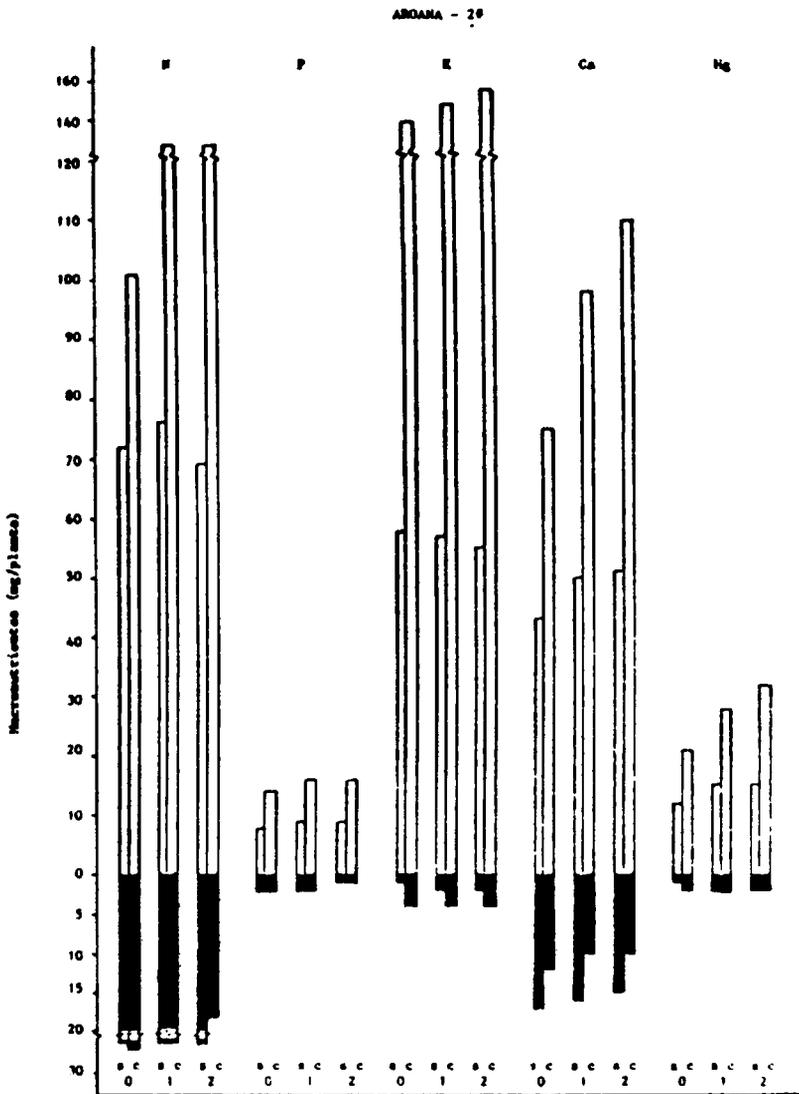


Figura 6 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea e radicular do feijoeiro Aroana ao final do ciclo (2ª colheita). OBS: s/c = sem/com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

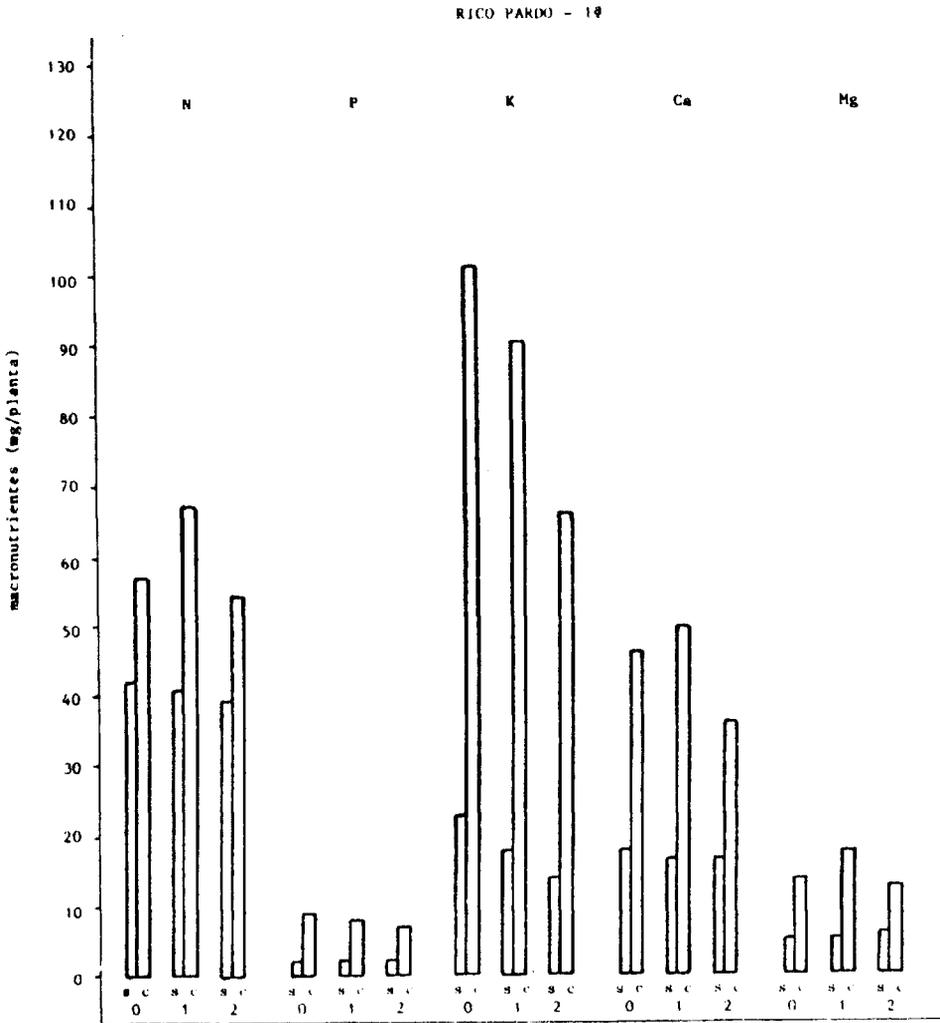


Figura 7 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea do feijoeiro Rico Pardo à florada (1ª colheita). OBS: s/c = sem e com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

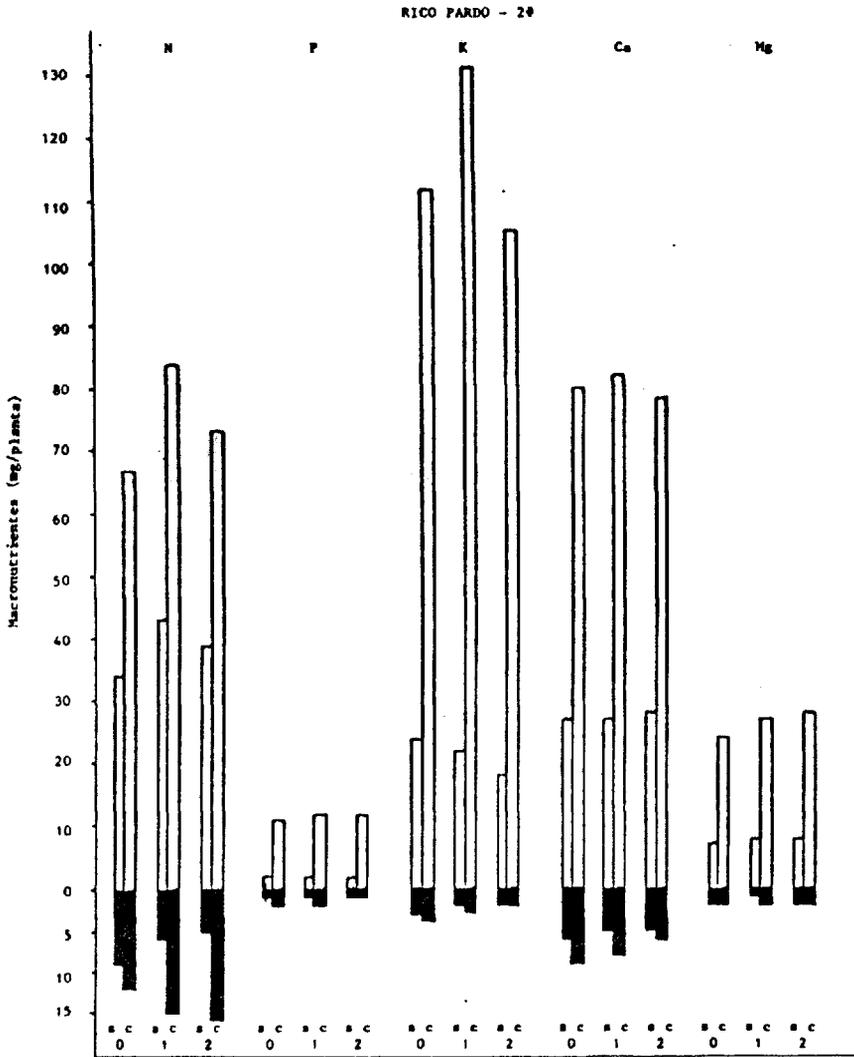


Figura 8 - Acúmulo de macronutrientes pela área e radicular do feijoeiro Rico Pardo ao final do ciclo (2ª colheita).
 OBS: s/c = sem e com adubo; 0-1-2 = nível de compactação.

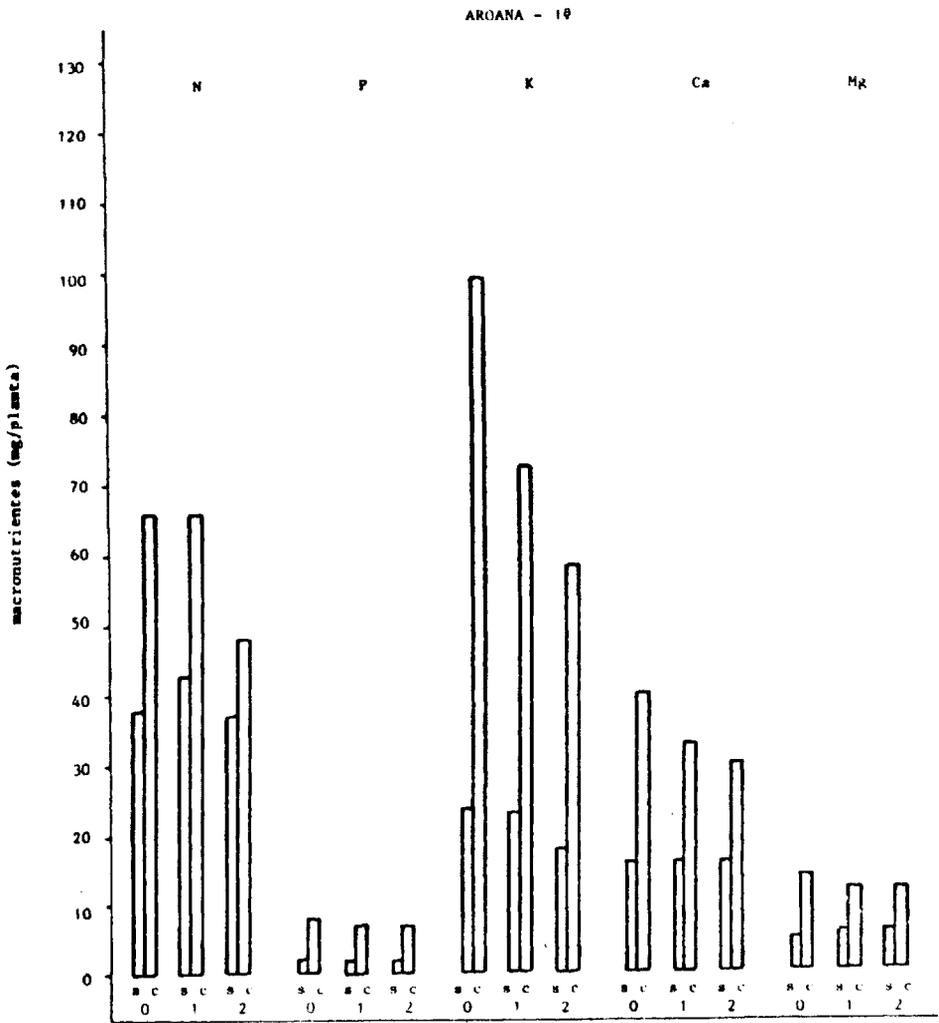


Figura 9 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea do feijoeiro Aroana à florada (1ª colheita). OBS: s/c = sem/com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

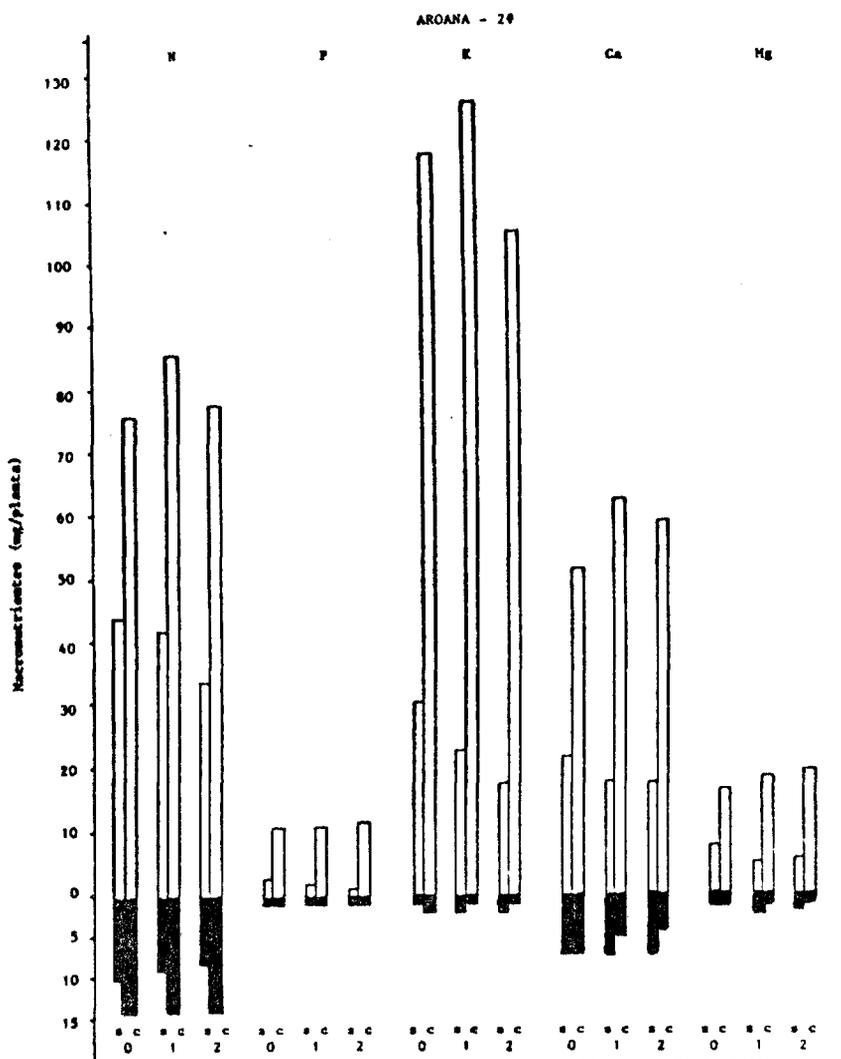


Figura 10 - Acúmulo de macronutrientes pela parte aérea e radicular do feijoeiro Aroana ao final do ciclo (2ª colheita).
 OBS: s/c = sem/com adubo; 0-1-2 = níveis de compactação.

e 20,0/1,7% na parte aérea, ao passo que no sistema radicular de -17,9/-11,0% e 9,6/-2,1%.

No PVp, o acúmulo de P na parte aérea à florada, nas parcelas sem/com adubo, para Rico Pardo e Aroana, variou 0,0/-22,2% e 0,0/-12,5%, e no final do ciclo de -18,9/9,0% e -58,1/8,6%. Nas raízes variou de -23,7/ /-38,6% para Rico Pardo, e de -10,0/-42,5% para Aroana.

c) Potássio

No LR, nas parcelas sem/com adubo, para Rico Pardo e Aroana, o acúmulo de K variou de 0,0/24,7% e 7,5/ -18,4% na parte aérea à florada, e de -12,9/-1,7% e -4,2/5,4% no final do ciclo. Nas raízes de -10,9/-56,4% e 41,5/9,1% respectivamente.

No PVp, a variação no acúmulo de K na parte aérea à florada, para Rico Pardo e Aroana, foi de -39,1/-34,7% e -25,0/-41,4% e no final do ciclo de -28,1/-6,6%, e -41,1/-10,5%. No sistema radicular a variação foi de -29,1/-30,3% e 14,1/-23,1%.

d) Cálcio

No LR, o Ca, para Rico Pardo e Aroana, variou de -2,0/63,4% e 47,8/8,6% na parte aérea à florada, e de 2,1/-7,0% e 19,6/13,6% no final do ciclo, nas parcelas sem/com adubo. No sistema radicular variou de -29,8/ -5,1% e de -10,3/-3,9%.

No PVp, o acúmulo de Ca, na parte aérea à florada, nas parcelas sem/com adubo, para os cultivares Rico Pardo e Aroana respectivamente, variou de -5,6/-21,7% e 0,0/-25,0%, e ao final do ciclo de 3,6/-2,3% e -16,8/ 13,1%. Para as raízes de -9,5/33,8% e 8,5/-35,3%.

e) Magnésio

A extração de Mg, por Rico Pardo e Aroana, nas parcelas sem/com adubo do LR, variou de 0,0/69,2% e 42,9/9,1% na parte aérea à florada, e de 12,4/-6,9% e 17,8/12,3% no final do ciclo. Nas raízes de 2,9/-4,9% e 31,8/-7,1%.

No PVP, a acumulação de Mg pela parte aérea à florada, nas parcelas sem/com adubo e nos cultivares Rico Pardo e Aroana, respectivamente, mostrou variações de 20,0/-7,1% e 20,0/-14,3% e no final do ciclo de 7,8/19,2% e -23,2/18,2%. Para as raízes de 6,2/-18,0% e 30,6/-26,9% respectivamente.

Considerando o final do ciclo e os níveis de compactação que promovem redução de matéria seca, verifica-se em termos genéricos, para o LR, uma tendência de redução no acúmulo de K (até 12,9%) e N (até 7,8%) e o aumento no acúmulo de Mg (até 17,8%). No caso do sistema radicular uma redução de Ca, N e P. A ordem decrescente de redução seria: $N > K > P = Ca = Mg$ na parte aérea, e $Ca > N > P > K > Mg$ nas raízes. Para o PVP, verifica-se, em termos genéricos, para a parte aérea, uma tendência de aumento no acúmulo de Mg (até 18,2%) e N (até 15,9%) e redução de K (até 41,1%). No caso do sistema radicular uma redução na extração de Ca (até 35,3%) e K (até 30,3%). A ordem decrescente de redução seria: $K > P > Ca > N > Mg$ para a parte aérea e $N > P > K > Ca > Mg$ para as raízes. Para as outras situações ocorre interferência do nível de fertilidade e do cultivar.

CONCLUSÕES

A análise dos dados levantados permite concluir que o efeito do aumento da compactação sobre o acúmulo de matéria seca de feijoeiro depende:

- a) da porcentagem de macroporos, parecendo estar o valor adequado em torno de 11%, com relação micro/macroporos de 4:1.
- b) do nível de nutrientes e sais do solo.
- c) do cultivar utilizado e sua eficiência nutricional, do qual depende de sua tolerância à concentração salina.
- d) do estágio da cultura, quando conduzida em vasos de pequena capacidade, e com camada de terra solta na superfície.
- e) do volume de solo disponível para ser explorado pelo sistema radicular.
- f) do vigor radicular.

Considerando os dados levantados ao final do ciclo, pode ser concluído quanto à concentração e acúmulo de macronutrientes, que o aumento da compactação dos solos leva a uma tendência geral de:

- g) aumento nos teores de Mg, Ca e N na parte aérea, e de Mg, Ca e K nas raízes.
- h) redução nos teores de K na parte aérea, e de N nas raízes.
- i) aumento no acúmulo de Mg no LR, e de Mg e N no PVp, pela parte aérea.
- j) redução no acúmulo de K e N no LR, e de K no PVp, pela parte aérea.
- k) redução na extração de Ca, P e N no LR, e de Ca e K no PVp, pela raízes.

SUMMARY

DRY MATTER PRODUCTION, CONCENTRATION AND ACCUMULATION OF MACRONUTRIENTS BY COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.), GROWN IN TWO SOILS SUBJECTED TO COMPACTION

Pot trials with fertilized and non fertilized soil samples of the A horizon from an Oxisol (LR) and an Alfisol (PVP), confined in 3,8 liter pots, and cropped with two common bean cultivars, were conducted in greenhouse.

The soil samples were subjected to compaction forces, and maintained with a soil water tension between 100 and 300 mbars.

The beans were harvested at the flowering stage and at 67 days after emergence (maturity).

It could be verified a differential variation in dry matter production due to the genotype, the cultural stage, fertility and compaction levels of the soils.

In general, at the end stage of the culture, the dry matter accumulation is related with the soil macroporosity. It seems to exist an ideal zone for maximal accumulation, below and above of which, there is a tendency to decrease. The major influence of the compaction occurred on the fertilized pots.

In the above ground part occurred the general tendency of increase on the Mg concentration (up to 26.3%), besides on

Ca and N, and the decrease on the K level. In the roots the tendency was of increase on the Mg and the K, and reduce on the N concentrations.

At the end stage it could be verified a general tendency in increase on accumulation of Mg and the decrease on K and N in the drave ground part, and the decrease on and the Ca, P and N in the roots, considering the Oxisol. In the Alfisol, it could be verified a general tendency in increase on the accumulation of Mg and N, besides the decrease on K in the shoots, and the decrease on Ca and K in the roots.

LITERATURA CITADA

- AUBERTIN, G.M.; KARDOS, L.T., 1965. Root growth trough porous media under controlled conditions. 1. Effect of pore size and rigidity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29(2): 290-293.
- BERGMANN, W., 1981. Agrochemische Aspekte der Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus dem Unterboden. Im Blickfeld, 57: 2-9.
- BERTRAND, A.R.; KOHNKE, H., 1957. Subsoil conditions and their effect on oxygen supply and the growth of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21(2): 135-140.
- BRUCE, R.R., 1955. An instrument for determination of soil compactability. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19(3): 253-257.

- CASTILLO, S.R.; DOWDY, R.H.; BRADFORD, J.M.; LARSON, W. E., 1982. Effects of applied mechanical stress on plant growth and nutrient uptake. Agron. J., 74(3): 526-530.
- CATANI, R.A.; JACINTHO, A.O., 1974. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 57 p. (Bol. Tec. Cient. nº 37).
- CINTRA, F.L.D., 1980. Caracterização do impedimento mecânico em latossolos do Rio Grande do Sul. Pôrto Alegre, UFRGS, 89p. (Dissertação de Mestrado).
- DAY, P.R.; HOLMGREEN, G.G., 1952. Microscopic changes in soil structure during compression. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16(1): 73-77.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P., 1966. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. Bragantia, 25(38): 421-432.
- LABANAUSKAS, C.K.; STOLZY, L.H.; ZENTMYER, G.A.; SZUSZKIEWICZ, T.E., 1968. Influence of soil oxygen and soil water on the accumulation of nutrients in avocado seedlings (*Persea americana* Mill.). Plant and Soil, 29(3): 391-406.
- LOWRY, F.E.; TAYLOR, H.M.; HUCK, M.G., 1970. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34(2): 306-309.
- MARCOS, Z.Z.; FREIRE, O., 1980. Efeito da agregação do solo sobre o desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.). Rev. de Agricultura, 55(3): 139-152.

- McKEE, G.W.; LANGILLE, A.R., 1967. Effect of soil pH, and fertility on growth, survival, and element content of Cronwetch (*Coronilla varia* L.). Agron. J., 59(6): 533-536.
- PHILLIPS, R.E.; KIRKHAM, D., 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J., 54(1): 29-34.
- PRIMAVESI, A., 1980. O manejo ecológico do solo. São Paulo, Ed. Nobel, 541 p.
- PRIMAVESI, O., 1983. Nutrição mineral de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em dois solos sujeitos à compactação. Piracicaba, ESALQ/USP, 142 p. (Dissertação de Mestrado).
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; LIBARDI, P.L., 1984a. Influência da compactação em características químicas e propriedades físicas de amostras de solo cultivadas com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", 41: 465-483.
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; MURAOKA, T., 1984b. Comportamento diferencial de dois cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), no acúmulo de matéria seca, nutrientes, Al e eficiência nutricional, em função da compactação de dois solos. Anais E.S.A. "Luiz de Queiroz", 41: 433-447
- ROSENBERG, N.J.; WILLITS, N.A., 1962. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26: 78-82.
- ROVIRA, L.A.A., 1975. Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), var. Carioca. Piracicaba, ESALQ/USP, 86 p. (Tese de Doutorado).

- ROWE, R.; BEARSELL, D., 1973. Waterlogging of fruit trees. Hort. Abstr., 43(9): 533-548.
- RUSSELL, E.W., 1963. Soil conditions and plant growth. London, Longmans, 635 p.
- RUTLEDGE, B.E.; McCLURG, J.E., 1980. Plant tissue analysis by inductively coupled Argon Plasma spectrometry. Jarrel Ash Plasma Newsletter, 3(3): 4-5.
- SANCHEZ, P.A., 1977. Properties and management of soils in the tropics. New York, John Wiley & Sons, 618 p.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P., 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Departamento de Química, ESALQ/USP, 56 p.
- SCARDUA, R., 1972. Porosidade livre de água, de dois solos do Município de Piracicaba, SP. Piracicaba, ESALQ/USP, 83 p. (Dissertação de Mestrado).
- TAYLOR, H.M., 1974. Root behavior as affected by soil structure and strenght. In: CARSON, E.E., ed., The plant root and its environment, Charlottesville, Univ. Press of Virginia, p. 271-291.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H., 1948. Soil density and root penetration. Soil Sci., 65(4): 487-493.
- WATSON, Jr., J.R.; MUSSER, H.B.; JEFFRIES, C.D., 1951. Soil compaction determinations with a soil penetrometer as compared with the Geiger counter X-ray spectrometer. Agron. J., 43: 255-258.
- WIERSUM, L.K., 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores and their penetration by roots. Plant and Soil, 9(1): 75-85.

- WITTSSELL, L.E.; HOBBS, J.A., 1965. Soil compaction effects on field plant growth. Agron. J., 57:534-537.
- ZIMMERMANN, R.P.; KARDOS, L.T., 1961. Effects of bulk density on root growth. Soil Sci., 91(3); 280-288.