

POROSIDADE DE AEREAÇÃO DE SOLOS PARA A MÁXIMA  
PRODUÇÃO DE GRÃOS DE FEIJOEIRO, EM  
CASA DE VEGETAÇÃO\*

O. Primavesi\*\*  
F.A.F. de Mello\*\*\*  
P.L. Libardi\*\*\*\*

---

RESUMO: Foram realizados experimentos em casa de vegetação, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, em Piracicaba, SP, com amostras de terra do horizonte A<sub>1</sub> ou Ap e B<sub>2</sub> de um Oxisol (LR) e um Alfisol (PVP), sem e com adubação mineral e calagem, para verificar qual é a porcentagem de poros com diâmetro maior que 0,05 mm, numa faixa de 3 a 24%, que corresponde à máxima produção de grãos de feijoeiro cultivar Aroana 80. O conteúdo de água, dos 2,5 litros de terra por vaso, foi mantido entre 100 e 70% da capacidade de vaso. Pôde ser constatada uma faixa preferencial entre 9 e 16% de poros de aeração, sendo deslocada para uma faixa entre 24 e 29% de macroporos, quando ocorrer maior taxa de acúmulo de matéria seca, e provavel menor fornecimento de O<sub>2</sub> nos pontos de crescimento radicular em solos com agregados pequenos de grande estabilidade e maior conteúdo de água.

---

\* Parte da Tese, com bolsa de estudo da EMBRAPA, apresentada pelo primeiro autor, à E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

\*\* Centro de Tecnologia COPERSUCAR, Piracicaba, SP.

\*\*\* Deptº de Solos, Geologia e Fertilizantes da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

\*\*\*\* Deptº de Física e Meteorologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pesquisador do CENA/USP, Bolsista do CNPq. Piracicaba, SP.

Termos para indexação: feijoeiro, porosidade de aeração, casa de vegetação.

AERATION POROSITY OF SOILS FOR THE MAXIMUM GRAIN  
YIELD OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris*, L.),  
IN GREENHOUSE

ABSTRACT: Experiments were carried out in greenhouse, at ESALQ/USP, in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil, with soil samples of the A<sub>1</sub> or Ap and B<sub>2</sub> horizon of an Oxisol (LR) and an Alfisol (Pvp), without and with mineral fertilizer and lime, to verify the optimum aeration porosity, between 3 and 24%, for the maximal yield of common bean, cv. Aroana 80. The water content in the 2,5 l of the soil sample in the pot was maintained between 100 and 70% of the field capacity. A preferential range (9 - 16%) of macropores or aeration pores (diameter greater than 0,05 mm) could be verified. And deslocated to a range between 24 and 29% of macropores, when a higher dry matter accumulation rate occur, besides a probably lower oxygen supply to the growth points of the roots in soils with small aggregates extremely water stable and with a higher water content.

Index terms: common bean, aeration porosity, greenhouse.

---

## INTRODUÇÃO

Revendo a literatura sobre o assunto, encontra-se que ROSENBERG & WILLITS (1962) verificaram que em solo arenoso o aumento da densidade do solo por compactação melhorava a produção de feijoeiro até certo ponto para depois decair. Em solo argiloso o aumento da densidade

levou a um decréscimo contínuo de produção.

ROVIRA (1975) verificou que a macroporosidade igual ou inferior a 7,4% levava a um impedimento do desenvolvimento mais profundo das raízes de feijoeiro, obtendo crescimento bom ao redor de 14,4%.

Conduzindo feijoeiro sobre um solo franco-argiloso, FORSYTHE & HUERTAS (1979), constataram um aumento na produção de grãos até compactações com valores de resistência à penetração radicular de  $6 - 10 \times 10^2$  KPa, com posterior queda de produção com valores mais elevados. Em experimento anterior, no mesmo solo, LEGARDA & FORSYTHE (1978) encontraram que o espaço macroporoso adequado para o cultivar de feijoeiro utilizado estava em torno de 25%. Isto levou FORSYTHE & HUERTAS (1979) a sugerir um espaço macroporoso superior a 24% como sendo não limitante, entre 24 a 18% como levemente limitante (com reduções de produção até 20%), e abaixo de 5,3% como severamente depressivo.

Mais recentemente, PRIMAVESI (1983) e PRIMAVESI *et alii* (1984 a), observaram em terra do horizonte A de um latossolo roxo (que apresenta comportamento físico de solo arenoso, devido ao grau de agregação elevado das partículas sólidas) aumento de matéria seca de feijoeiro com compactação para valores de macroporosidade em torno de 11%, correspondendo a  $8,6 \times 10^2$  KPa de resistência à penetração de penetrôgrafo de cone, e redução com maior grau de compactação. Já em solo franco-siltoso, o aumento de compactação levava a uma redução contínua de produção, em função da redução da porosidade de aeração. Em terra do horizonte B<sub>2</sub> de um latossolo roxo, a compactação levou a um aumento de produção de matéria seca de feijoeiro Rico Pardo, sem ultrapassar a macroporosidade ideal limite. PRIMAVESI *et alii* (1984 b) constataram que a consideração da macroporosidade parece ser o fator físico mais adequado para correlacionar a produção ótima em diferentes solos. Os resultados indicaram que deve existir uma faixa adequada de poros de aeração, para a máxima produção de matéria seca de feijoeiro, e que parece ser semelhante para diferentes tipos de solo, que

apresentam drenagem livre.

Surgiu então, a necessidade de realizar um trabalho que se baseasse numa faixa pré-fixada de macroporos, ou, no presente caso, poros com diâmetro maior que 0,05 mm semelhante para todos os solos utilizados.

O estabelecimento desta faixa adequada de poros de aeração adquire importância na avaliação e interpretação mais adequada de resultados práticos de manejo de solo, adubação mineral superficial e em profundidade, bem como de irrigação e movimento de água no solo, com relação ao comportamento vegetal.

Com o objetivo de confirmar a hipótese da existência de uma faixa ótima de poros de aeração, independente de solo, realizou-se o cultivo de feijoeiro, em terra do horizonte A e B<sub>2</sub> de um Oxisol e um Alfisol, sem e com adubação mineral, variando a porcentagem de poros com diâmetro maior que 0,05 mm de 3 a 24%.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de terra dos horizontes (LR-A<sub>1</sub>, PVp-Ap) e B<sub>2</sub> de Latossolo Roxo, Série Iracema (LR) e de Podzólico Vermelho-Amarelo var. Piracicaba (PVp), classificados por RANZANI *et alii* (1966) respectivamente como sendo Haplacrox orthico e Typustalf ochrúlico.

A terra seca ao ar foi passada por peneira com malha de 2 mm de diâmetro, com posterior seleção a seco de agregados (Tabela 1) que permitissem o preparo de amostras de terra com porosidade de aeração de 24-17-10-3%, através de compactação. Foi determinada a massa de terra necessária para completar o volume de 15 cm de altura de vasos metálicos cilíndricos, com drenos basais, e com 16,5 cm de diâmetro e 18 cm de altura (PRIMAVESI, 1986).

A adubação mineral visou alcançar uma saturação em

Tabela 1. Análise granulométrica e densidade de partículas (dp) das amostras de terra (2 repetições).

SOLO	dp	macroporos meta (%)	peneira mm $\phi$	areia %	limo %	argila %
LR-A <sub>1</sub>	2,9	24-17	e.2-1	22,8	36,4	40,8
	2,8	10-3	p.1	26,5	33,5	40,1
LR-B <sub>2</sub>	2,9	24-17	p.1	21,9	20,9	57,2
	2,9	10-3	p.0,5	21,5	22,4	56,1
PVp-Ap	2,6	24-17	e.2-1	32,8	54,0	13,2
	2,5	10-3	p.2	34,7	55,8	9,5
PVp-B <sub>2</sub>	2,6	24-17-10	e.2-1	17,9	40,8	41,3
	2,7	3	p.1	19,1	41,9	39,6
areia	2,65		e.1-0,5	98,7	0,3	1,0

OBS: areia = utilizada para conseguir E' inicial de 24% no PVp-Ap. Substituiu 36% da massa de terra, devido ao diâmetro desejado das partículas sólidas.

e = retido entre peneiras;

p = passa peneira.

bases de 80%, com uma relação Ca:Mg:K de 16:4:1, de acordo com características químicas de cada amostra de terra (Tabela 2), e elevar o nível de P disponível ( $H_2SO_4$  0,05N) em torno de 15 ppm. Foram misturados com a terra  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ , KOH e superfosfato triplo. Ainda foram aplicados o equivalente a 40 kg/ha de N-uréia dissolvida em água (1/3 no plantio e 2/3 24 dias após emergência) e 20 kg/ha de Zn-sulfato de zinco. O potássio foi aplicado na forma de base para garantir sua participação no complexo de troca, com manutenção da relação desejada dos cations.

Os vasos foram semeados no dia 18/07/84, com sementes de feijoeiro cultivar Aroana 80, inoculadas com *Rhizobium phaseoli*, e colhido ao final do ciclo (3 plantas/vaso).

A umidade do solo foi mantida entre 100 e 70% da capacidade de vaso (MORAES, 1984).

Ao final do ciclo as vagens foram colhidas (exceto para o PVP-B<sub>2</sub> sem adubo, no qual as plantas definharam aos 53 dias), secas em estufa com ventilação forçada a  $65 \pm 5^\circ C$ , e após debulha, pesadas as sementes.

As amostras indeformadas para as determinações físicas no solo foram coletadas, após corte da parte aérea, com anel volumétrico de alumínio, com base em biesel, com 4,8 cm de diâmetro e 3 cm de altura, a 5-7 cm da superfície da terra. Foi seguida a metodologia descrita por SCARDUA (1972) para a macroporosidade, pelo método do anel volumétrico. Os poros de aeração foram considerados aqueles com diâmetro superior a 0,05 mm que retêm água a tensões de uma coluna de água menor que 60 cm.

Foram realizados 4 experimentos, num esquema fatorial 4 x 2, inteiramente casualizado. Um experimento para cada tipo de amostra de terra, com 4 níveis de poros de aeração, 2 níveis de adubação e 4 repetições.

Tabela 2. Características químicas das amostras de terra antes da instalação dos experimentos. (2 repetições).

SOLO	Peneira	pH água	C Z	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	K <sup>+</sup> emg	Ca <sup>2+</sup> g/100g	Mg <sup>2+</sup> terra	Al <sup>3+</sup>	CTC <sub>7</sub>	V Z	m Z
LR-A <sub>1</sub>	e.2-1	5,9	1,44	0,05	0,09	4,22	1,57	0,09	10,04	58,6	1,5
	p.1	5,8	1,47	0,04	0,08	3,60	1,42	0,11	8,86	57,6	2,1
LR-B <sub>2</sub>	p.1	5,2	0,90	0,02	0,01	1,82	0,25	0,21	6,72	31,0	9,2
	p.05	5,3	0,84	0,02	0,01	1,89	0,25	0,24	6,87	31,2	10,0
PVp-AP	e.2-1	5,0	0,57	0,02	0,12	3,12	0,96	0,72	8,20	51,2	14,6
	p.2	5,0	0,51	0,02	0,01	2,92	1,08	0,96	7,61	52,7	19,3
PVp-B <sub>2</sub>	e.2-1	4,7	0,36	0,01	0,21	1,88	2,80	7,92	16,33	29,9	61,8
	p.1	4,7	0,39	0,01	0,21	1,90	2,81	8,00	16,68	29,5	61,9
areia	e.1-0,5	6,7	0,06	0,10	0,03	0,46	0,37	0,08	0,04	51,8	8,5

OBS: pH-água = relação solo: água de 1:2,5; CZ por titulação do excesso de bicromato de potássio com iodo; P (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N) relação solo:extrator de 1:10; Ca e Mg (KCl 1 N) por titulação com EDTA; K (HNO<sub>3</sub> 0,05 N) com fotometro de chama; Al + H (acetato de Ca 1 N, pH 7) titulação com NaOH 0,02 N;

valor m = saturação em Al<sup>3+</sup>;

CTC<sub>7</sub> = a pH 7;

V = saturação em bases.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A meta almejada de macroporosidade foi praticamente alcançada com as amostras de terra do Lasossolo Roxo (Tabela 3), para os dois horizontes. Para o solo PVp, não foi possível manter, durante o experimento, a faixa de poros de aeração inicial, provavelmente devido à instabilidade dos agregados à ação da água, e a consequente reacomodação de partículas sólidas. A variação extrema para os macroporos encontrada foi de 1,81 a 28,75%, considerando parcelas isoladas.

A compactação afetou a produção de grãos, com maior intensidade nos tratamentos adubados. (Figura 1).

A produção de grãos variou com o tipo de solo, mesmo com macroporosidade semelhante, em ordem decrescente: LR-A<sub>1</sub>, PVp-Ap, LR-B<sub>2</sub> e PVp-B<sub>2</sub>. A produção nos horizontes superficiais sempre foi maior que no B<sub>2</sub>. Provavelmente devido à ausência de matéria orgânica efetiva (= %MO - 0,03 x % argila, baseado PRIMAVESI, 1980, p.117) neste último. As parcelas sem adubo representam respectivamente 41, 2, 32, 7 e 13,3% das parcelas adubadas do LR-A<sub>1</sub>, PVp-Ap e LR-B<sub>2</sub>, considerando as maiores produções, destacando-se a resposta grande (7,5 vezes) à adubação no LR-B<sub>2</sub>. Considerando o horizonte A<sub>1</sub> ou Ap e B<sub>2</sub>, a diferença de produção para o horizonte A é de 6,3, 3,6 e 2,0 vezes maior no LRsem, PVpcom e LR com adubação respectivamente.

Comparando as produções de grão com as porosidades de aeração (Tabela 3), pode ser verificado que não ocorreu uma faixa estreita ótima de macroporos para a produtividade máxima. Entretanto, na faixa de 9 a 16% (média de 12,5%) de macroporos, são encontradas tendências (4) de picos de produção no PVp horizonte Ap e B<sub>2</sub>, sem e com adubo, e no LR-A<sub>1</sub> sem adubo, e na faixa de 24 a 29% (média de 25,6%) de macroporos picos de produção (3) no LR-A<sub>1</sub> com adubo e no LR-B<sub>2</sub> sem e com adubo. A primeira faixa com 4 casos, concorda com os dados de RO-VIRA (1975), PRIMAVESI (1983) e PRIMAVESI *et alii*

Tabela 3. Macroporosidade, produção de grãos, raízes e parte aérea, água e condutividade elétrica dos solos adubados (média de 4 repetições).

SOLO	Tratamen to	P <sup>1</sup> %	Grãos g/planta	Raízes g/pl	P. a. g/pl	Água %	CE mho/cm
LR-A	S-24	26,7a	1,61a	0,42ab	3,32b	10,0	
	17	20,9b	1,68a	0,36b	3,68ab	10,0	
	10	14,5c	2,15a	0,52a	4,45a	11,2	
	3	5,5d	1,94a	0,50a	4,05ab	9,4	
	C-24	28,7a	5,71a	1,55a	10,37a		0,831
	17	22,1b	4,01b	0,67b	8,30b		1,185
	10	18,6c	4,46b	0,68b	8,28b		0,956
	3	6,8d	2,71c	0,56b	5,53c		0,914
LR-B <sub>2</sub>	S-24	24,4a	0,34a	0,38a	1,44a	13,2	
	17	17,7b	0,32a	0,43a	1,33b	12,1	
	10	11,6c	0,31a	0,35a	1,24a	11,2	
	3	6,5d	0,32a	0,34a	1,09a	10,4	
	C-24	23,6a	2,56a	0,70a	5,14a		0,605
	17	19,6a	2,55a	0,82a	4,48a		0,794
	10	12,3c	2,34a	0,51b	4,57a		0,449
	3	7,9d	1,29b	0,56b	3,35b		0,582
PVP-A	S-24	27,1a	0,79a	0,28a	2,03a	5,4	
	17	12,4b	0,71a	0,24a	1,74a	7,2	
	10	11,7b	0,96a	0,31a	2,07a	6,6	
	3	11,7b	1,06a	0,32a	2,51a	6,3	
	C-24	21,9a	2,97a	1,50a	6,14a		0,487
	17	17,5a	2,87a	1,12a	6,25a		0,582
	10	9,8b	3,24a	1,29a	6,57a		1,417
	3	7,9b	3,22a	1,07a	6,66a		1,002
PVP-B <sub>2</sub>	S-24	12,2a	0	0,13a	0,14a	9,1	
	17	9,4ab	0	0,13a	0,16a	8,9	
	10	6,6bc	0	0,12a	0,13a	7,6	
	3	5,8c	0	0,12a	0,18a	8,0	
	C-24	15,8a	0,91a	0,22a	2,30a		0,627
	17	7,5b	0,72a	0,18ab	1,76b		0,340
	10	5,4b	0,43b	0,14b	1,31c		0,552
	3	5,1b	0,73a	0,16b	1,86b		0,837

OBS: E<sup>1</sup> = macroporosidade à colheita; 24-17-10-3 = % macroporos inicial; CE = con-  
 dutividade elétrica inicial (vasos sem planta); S/C = sem/sem adubo; água =  
 contida entre 100 e 70% da capacidade de vaso, em g/pl; letras diferentes in-  
 dicam diferença no nível de 5%; raízes = total, camada solta = superficial  
 mais a compactada; P.A. = matéria seca da parte aérea total.

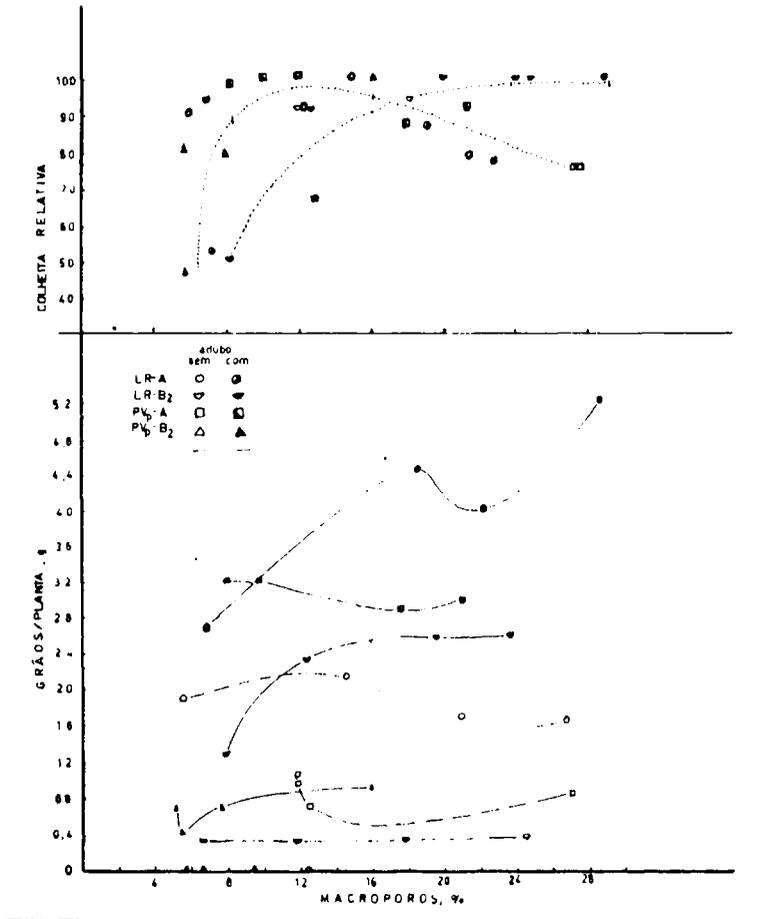


Fig. 1. Produção de grãos (g/planta) em função da porcentagem de poros de aeração.

(1984) para a produção de matéria seca, e a segunda faixa, com 3 casos, concorda com resultados LEGARDA & FORSYTHE (1978).

Procurando explicação para a ocorrência destas duas faixas ótimas, inclusive para amostras de terra de um mesmo solo e horizonte (LR-A<sub>1</sub>), encontrou-se MARCOS & FREIRE (1980), que lembram que o aumento no grau de agregação das partículas sólidas de um solo resulta num equilíbrio água: ar mais favorável ao desenvolvimento vegetal, podendo, porém, agregados pequenos reter mais água numa mesma tensão, com redução no arejamento. Além disso, a presença de espécies iônicas hidratadas, como de Fe, pode reter água a tensões mais elevadas, tornando-a menos disponível à planta. Este fenômeno pode ser eliminado por complexação ou quelação (JAMES & RICHARDS, 1986), destes ions. Medições de água presente na faixa de 100 a 70% da capacidade de vaso mostraram realmente que ocorreu maior conteúdo de água no LR que no PVp (Tabela 3), e que poderia explicar as diferenças entre os dois solos, mas não no LR.

MARCOS & FREIRE (1980) ainda informam que um teor crescente de sais solúveis na solução do solo aumenta a exigência da planta em oxigênio. Medições da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) das parcelas adubadas, realizadas no final do ciclo em vasos sem planta, acusaram valores de até 1,4 mmhos/cm (Tabela 3). Dados do US SALINITY LABORATORY STAFF (1954) informam que 2 mmhos/cm reduzem a produção de feijoeiro em 10% e 4 mmhos/cm em 50%. Nestes experimentos embora não foram utilizados adubos minerais com elevado índice salino (à excessão da uréia) pode ter ocorrido condição de maior necessidade de O<sub>2</sub> no início do ciclo vegetativo, até a redução dos valores da CEe próximas ao crítico.

Durante o ciclo da cultura, a média das temperaturas máximas foi de 41,2°C, e das mínimas, 16,1°C. FRANCO *et alii* (1972) informam que para a cultura do feijoeiro a máxima ótima limite parece estar em torno de 30°C. Pode ter ocorrido a ultrapassagem do ponto de compensação (FERRAZ, 1984) luminica, já que para amenizar a tem-

peratura o telhado de vidro foi coberto (em 50%) com folhas de palmeiras, e também o ponto de compensação térmico, ocorrendo uma atividade respiratória mais intensa que a fotossintética, em diversas fases do ciclo da cultura. Maior atividade respiratória corresponde a uma maior exigência em oxigênio. Além de um menor envio de assimilados à raiz, necessários ao estabelecimento da pressão osmótica necessária à pressão de crescimento das células em elongação (TAYLOR & RATLIFF, 1969), e à absorção de água e nutrientes (com envolvimento, também, na produção de energia química). Plantas com crescimento mais intenso, devem ter exigência maior de oxigênio que plantas menos vigorosas, requerendo taxa de difusão de oxigênio ótimas maiores, como também sugerido por MEEK *et alii* (1986), o que pode ter ocorrido no caso do LR-A<sub>1</sub> adubado.

Além disso, o que se poderia chamar de eficiência no aproveitamento de oxigênio, também deve ser dependente do estado nutricional da planta, (Tabela 4), a semelhança da eficiência no uso de água (PRIMAVESI, 1986), e da eficiência nutricional (PRIMAVESI *et alii*, 1985; PRIMAVESI, 1986), afetados principalmente pelo grau de fertilidade química do solo, e o último também pelo grau de compactação ou porcentagem de poros de aeração. A redução dos poros de aeração pode beneficiar nutrientes em baixo teor no substrato, e que chegam às raízes preferencialmente por difusão. Este parâmetro também deve estar ligado às exigências específicas do genotipo utilizado.

Considerando todos estes fatores ambientais afetam do o estado nutricional da planta, poderia ser evocada a "lei do mínimo", através da qual poder-se-ia prever que, com o aumento do nível de oferta dos nutrientes minerais e água, mantendo as proporções requeridas pelo genoma, poderão ocorrer não somente duas faixas ótimas de macroporosidade, mas um requerimento linear de oxigênio na faixa dos 9 a 29% de macroporos, enquanto ocorrer, evidentemente, o mesmo comportamento no acúmulo de matéria seca vegetal, principalmente com metabolismo já acelerado por temperaturas ambiente mais elevadas.

Tabela 4. Teor relativo de nutrientes (%) na parte aérea, nos tratamentos de maior produção, nos 4 tipos de terra, sem e com adubo, além da eficiência de uso de água. (PRIMAVESI, 1986).

SOLO	grãos g	EUA ml/g	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	sma %	smi ppm
LR-Ac	5,21	428	31,63	3,07	29,41	28,60	5,98	0,039	0,028	0,300	0,072	7,3	324
PVp-Ac	3,24	540	31,06	4,54	27,64	29,58	6,32	0,092	0,038	0,429	0,309	5,9	520
LR-B <sub>2</sub> C	2,56	488	34,95	2,73	28,30	28,61	4,84	0,046	0,035	0,402	0,103	7,4	445
LR-As	2,15	562	36,01	3,49	22,69	28,67	8,49	0,054	0,041	0,424	0,138	7,4	489
PVp-As	1,06	865	38,72	3,12	28,05	22,94	6,18	0,106	0,048	0,437	0,439	6,5	671
PVp-B <sub>2</sub> c	0,91	670	30,50	2,78	35,35	26,21	4,63	0,039	0,027	0,348	0,119	8,4	446
LR-B <sub>2</sub> s	0,34	644	30,27	2,66	17,61	40,34	7,97	0,056	0,041	0,474	0,593	7,9	920
PVp-B <sub>2</sub> s	0,18*	880	37,36	2,36	44,31	8,16	7,16	0,054	0,031	0,507	0,064	6,7	373

OBS:- EUA = eficiência de uso de água, em ml água transpirada por grama de matéria seca da parte aérea produzida; teor relativo, de cada nutriente em relação ao outro, sendo sua soma igual a 100; sma/smi = soma de macro/micro nutrientes; s/c = sem/com adubo. A produção do solo LR-Ac, de 5,21 g de grãos pode ser considerado tratamento padrão. (\*) produção de matéria seca da parte aérea.

Deve ter havido diferença grande para os teores de B, Al e talvez S e Mo.

## CONCLUSÕES

Considerando as condições de ambiente e genoma dos experimentos, pode ser concluído que:

- a) ocorre uma faixa ótima de poros de aeração, em solos, entre 9 e 16% (média de 12,5%) para a máxima produção de grãos de feijão. Com o aumento no teor de sais e água no substrato a faixa desloca-se em direção aos 24 a 29% (média de 25,6%).
- b) ocorre maior necessidade de poros de aeração quando houver maior requerimento de  $O_2$  (crescimento mais intenso, maior respiração devido à maior temperatura e teor de sais), ou menor fornecimento de  $O_2$  (em solos com agregados pequenos de grande estabilidade, e maior massa de água), ou desequilíbrios nutricionais (minerais).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERRAZ, E.C. *Apontamentos de fisiologia vegetal*. Piracicaba, CALQ, 1984. v.2, p.106.
- FORSYTHE, W.M.; HUERTAS, A. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-R variety. *Turrialba*, Coronado, 29(4): 293-8, 1979.
- FRANCO, C.M.; MIYASAKA, S.; INFORZATO, R. Alguns aspectos da fisiologia ecológica do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DO FEIJÃO, 1., Viçosa, 1972. *Anais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1972. p-109 - 18.
- JAMES, E.A.; RICHARDS, D. The influence of iron source on the water holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, 28(3): 201-8, 1986. Apud *Soils and Fertilizers*, Farnham Royal, 49(10): 9760, 1986.

- LEGARDA, L.; FORSYTHE, W.M. Soil water and aeration and red bean production. II. Effect of soil aeration . *Turrialba, Coronado*, 28: 175-8, 1978.
- MARCOS, Z.Z.; FREIRE, O. Efeito da agregação do solo sobre o desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.). *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 55(3): 139-52, 1980.
- MEEK, B.D.; DONAVAN, T.J.; GRAHAM, L.E. Alfafa stand losses from irrigation; influence of soil temperature, texture and aeration status. *Journal of the Soil Science Society of America*, Madison, 50(3): 651-5, 1986.
- MORAES, S.O. Influência da vermiculita expandida no balanço hídrico e na produção de uma cultura de arroz , (*Oryza sativa* L.), em casa de vegetação. Piracicaba , 1984. 127p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo*. São Paulo, Nobel, 1980. 541p.
- PRIMAVESI, O. Nutrição mineral de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em dois solos sujeitos à compactação . Piracicaba, 1983. 142p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- PRIMAVESI, O. Produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em função da porosidade de aeração de solos. Piracicaba, 1986. 85p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; LIBARDI, P.L. Influência da compactação em características químicas e propriedades físicas de amostras de solo cultivadas com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 41: 465-9, 1984a.
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; LIBARDI, P.L. Seleção preliminar de parâmetros físicos mais adequados para estudar o efeito da compactação de amostras de solo sobre a produção de matéria seca vegetal de fei-

- joeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 41: 449-63, 1984b.
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; MURAOKA, T. Eficiência nutricional do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Oxisol e Alfisol, em função de níveis de compactação do solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 42(1): 289-301, 1985.
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. *Carta de solos do município de Piracicaba*. Piracicaba, ESALQ, Centro de Estudos de Solos, 1966. 85p.
- ROSENBERG, N.J. & WILLITS, N.A. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soils. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Madison, 26: 78-82, 1962.
- ROVIRA, L.A.A. Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Carioca. Piracicaba, 1975. 86p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SCARDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, SP. Piracicaba, 1972. 83p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- TAYLOR, H.M.; RATLIFF, L.F. Root growth pressures of cotton, peas and peanuts. *Agronomy Journal*, Madison, 61(3): 398-402, 1969.
- United States Salinity Laboratory Staff. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, US Government Printing Office, 1954. (Handbook, 60).

---

Recebido para publicação em: 29.04.88

Aprovado para publicação em: 08.11.88