



Resposta fenotípica de arroz de terras altas ao estresse de fósforo no solo

Cleber M. Guimarães¹, Luís F. Stone¹ & Pérciles C. F. Neves¹

RESUMO

Avaliaram-se, neste trabalho, em condições de baixo e alto teor de fósforo (P) no solo, 51 linhagens de arroz provenientes do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão, com o objetivo de identificar indicadores de eficiência no uso de P e linhagens com eficiência diferenciada no uso desse nutriente. O índice de eficiência do uso de fósforo mostrou ser mais adequado que a produtividade em baixo teor de fósforo no solo, na avaliação da eficiência diferenciada das linhagens no uso do P. Três linhagens, CNA 4634, CNA 4120 e CNA 3178, apresentam bom comportamento produtivo, tanto em alto como em baixo teor de P no solo e 22 mostraram bom comportamento produtivo em alto teor de P no solo; entretanto, não foram eficientes no aproveitamento de baixo P disponível no solo enquanto as demais foram desconsideradas em razão de indicarem baixo comportamento produtivo sob boa disponibilidade de P.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., índice de eficiência do uso de fósforo, cultivares eficientes e não eficientes

Response of upland rice in soils with low content of phosphorus

ABSTRACT

Fifty-one lines from Embrapa Rice & Beans Germplasm Bank were evaluated under conditions of low and high soil phosphorus (P) content, in order to identify P use efficiency indicators as well as lines with differentiated response to P use efficiency. Phosphorus use efficiency index was more suitable to evaluate lines in relation to P use efficiency than grain yield at low soil P content. Three lines, CNA 4634, CNA 4120, and CNA 3178 showed good grain yield performance at high as well as at low soil P content, while 22 lines showed good grain yield performance at high soil P content, but were not efficient in the use of low available soil P, while the rest were not considered because they showed low yield performance at high soil P content.

Key words: *Oryza sativa* L., phosphorus use efficiency index, P-efficient and non-efficient cultivars

INTRODUÇÃO

A deficiência de fósforo é considerada um dos principais fatores que limitam a produtividade do arroz em muitos solos da região do Cerrado (Fageria, 1982), agravada quando ocorre não só a baixa concentração do elemento no solo como, também, a intensa adsorção às partículas do solo (Sanchez & Salinas, 1981; Fageria & Baligar, 1997; Dobermann et al., 1998). Esses autores estimaram que mais de 90% do total de fósforo aplicado no solo podem ser rapidamente transformados em formas não prontamente disponíveis. Considerando-se esses aspectos, a identificação de germoplasma capaz de utilizar os nutrientes menos disponíveis no solo se constitui em importante estratégia de baixo custo para promover a sustentabilidade da agricultura das regiões marginalizadas (Otani & Ae, 1996). Esta estratégia foi confirmada por Wissuwa & Ae (2001) ao transferirem QTL de alta capacidade de absorção de P, da cultivar 'Kasalath', tolerante à deficiência de P, para a cultivar moderna de arroz 'Nipponbare', com alto índice de colheita, o que triplicou sua produtividade em condições de baixa disponibilidade de P. Um sistema radicular bem desenvolvido, capaz de explorar grande volume de solo, é reconhecido como um dos mais significativos mecanismos de adaptação da planta para garantir uma absorção suficiente de P (Sattelmacher et al., 1994; Horst et al., 2001); por outro lado, a arquitetura radicular das plantas pode sofrer alterações em resposta à deficiência de fósforo. Tem-se observado aumento no crescimento radicular lateral e nas ramificações secundárias laterais, em detrimento do alongamento da raiz primária do feijoeiro (Lynch & Brown, 2001). Uma adaptação comumente constatada na maioria das espécies é o aumento do comprimento e da densidade dos pêlos absorventes que contribuem para o aumento da absorção de fósforo através da expansão da superfície radicular (Abou-roos & Nielsen, 1979; Eissenstar, 1992; Gahoonia & Nielsen, 1997; Lynch & Brown, 2001). Wissuwa (2005) observou que a correlação entre a absorção de fósforo e o crescimento relativo das raízes sob condições de deficiência de P era maior que em ambiente de boa disponibilidade de fósforo porém Otani & Ae (1996) mostraram que a absorção de P foi fortemente correlacionada com o comprimento radicular em solos com alta disponibilidade de P. Haynes & Ludecke (1981) também não observaram relação entre a absorção de P e a massa radicular total em *Lotus pedunculatus* Cav mas se sabe que vários são os fatores que se interrelacionam e atuam conjuntamente no aumento da eficiência da absorção de P, pois a quantidade adicional de P absorvida em função da maior eficiência externa das raízes, associada à morfologia e à fisiologia, contribuirá para o maior crescimento radicular (Wissuwa, 2003) e este, por sua vez, para o aumento da absorção do nutriente. Define-se como germoplasma eficiente, aquele que requer menos nutriente que o ineficiente para atingir patamares semelhantes de produtividade (Gourley et al., 1993).

Objetivou-se, com este trabalho, identificar indicadores da

eficiência do uso de fósforo no solo pelo arroz, assim como linhagens com eficiência diferenciada no uso deste nutriente quando em baixa disponibilidade, porém com eficiência produtiva sob altas condições de P.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de campo, no período das águas do ano agrícola de 2003-2004, na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO, de coordenadas geográficas 16° 28' de latitude sul, 49° 17' de longitude oeste e altitude de 823,77 m, em sua estação agroclimática, em Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa. A análise química inicial dos solos na camada de 0-20 cm de profundidade, apresentou os seguintes resultados: pH (H₂O) 5,6; Ca²⁺ 24,3 mmol_c dm⁻³, Mg²⁺ 11,4 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ 1,0 mmol_c dm⁻³; P 0,4 mg dm⁻³ e K 90 mg dm⁻³, determinadas segundo metodologia apresentada pela Claessen (1997). Avaliaram-se 51 linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Arroz e Feijão, em condições de baixo e alto teor de fósforo no solo, no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. As condições de fósforo no solo constituíram os experimentos, que foram submetidos a análise individual e conjunta, de variância. No tratamento de baixo teor de fósforo aplicaram-se 12, 48, 20 e 20 kg ha⁻¹ de N, K₂O, FTE BR 12 e sulfato de zinco, respectivamente e, no tratamento de alto teor de fósforo, aplicou-se a mesma adubação acrescida de duas doses de fósforo, 600 + 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a primeira no ano agrícola 2002-03 e a segunda em 2003-04. Determinaram-se: a produtividade de grãos e os parâmetros agrônômicos, a massa de matéria seca das plantas e dos grãos, o índice de colheita, a esterilidade de espiguetas, o número de grãos por panícula e a altura das plantas. A secagem da biomassa foi efetuada em estufa com circulação interna forçada de ar, a 70 °C, até massa constante e, depois, pesada em uma balança de precisão; adotou-se também o índice de susceptibilidade (Fisher & Maurer, 1978) adaptado para a eficiência do uso de fósforo, conforme apresentado abaixo:

$$IP = (Y_{c/P} - Y_{s/P}) / (Y_{c/P} * D)$$

$$D = 1 - (X_{s/P} / X_{c/P})$$

em que: IP é o índice de eficiência do uso de fósforo, D é a severidade do estresse induzido pela baixa disponibilidade de P, Y_{c/P} e Y_{s/P} são, respectivamente, as produtividades individuais das linhagens nos tratamentos de alto e baixo teor de P e X_{c/P} e X_{s/P} são, respectivamente, as produtividades médias de todas as linhagens nos tratamentos de alto e baixo teor de P. A produtividade é tanto menos afetada pelo nível de estresse induzido pela baixa disponibilidade de P quanto menor for o valor de IP. As linhagens foram divididas em quartis, conforme a média da produtividade sob condições de alta disponibilidade de P e a média do seu índice de eficiência do uso de P. O quartil 1 foi definido pelas produtividades superiores

à produtividade média em ambiente com alta disponibilidade de P ($X_{c/P}$), e pelos IPs inferiores ao IP médio (IP_x); o quartil 2, pelas produtividades superiores a $X_{c/P}$ e IPs superiores ao IP_x ; o quartil 3, pelas produtividades inferiores a $X_{c/P}$ e IPs superiores ao IP_x e, finalmente, o quartil 4, pelas produtividades inferiores a $X_{c/P}$ e IPs inferiores ao IP_x .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se grande variabilidade entre as linhagens de arroz de terras altas quanto ao comportamento em baixo e alto teor de fósforo no solo, conforme todos os parâmetros avaliados, como pode ser observado nas Tabelas 1, 2 e 3. Os tratamentos com fósforo afetaram, com intensidade diferenciada, a produtividade das linhagens, por se ter observado efeito significativo na interação nível de fósforo x linhagens; o mesmo ocorreu quanto ao acúmulo de matéria seca das plantas (Tabelas 1, 2 e 3). As linhagens produziram, em média, 1619 kg ha⁻¹ no tratamento com alto fósforo e 478 kg ha⁻¹ no tratamento com baixo fósforo, enquanto o acúmulo de matéria seca foi de 3046 e 2025 kg ha⁻¹, nos tratamentos com alto e baixo P, respectivamente. O nível de fósforo também afetou significativamente a esterilidade de espiguetas, o número de grãos por panícula e a altura das plantas (Tabelas 1 e 3); entretanto, a intensidade do efeito de P sobre esses componentes agrônômicos foi semelhante em todas as linhagens, por não ter sido observado efeito significativo nas interações nível de fósforo x linhagens em cada um dos referidos componentes agrônômicos. Fageria & Baligar (1997) também mostraram efeito do nível de fósforo sobre o crescimento das plantas de arroz de terras altas, porém em solução nutritiva. A média da esterilidade de espiguetas foi 16,0 e 19,1%, nos tratamentos com alto e baixo teor de P, respectivamente, enquanto as panículas produziram, em média, 115 e 83 grãos e as plantas apresentaram altura máxima, por ocasião da colheita, de 97 e 80 cm nos tratamentos com alto e baixo teor de fósforo, respectivamente. Verificou-se que o índice de eficiência do uso de fósforo se correlacionou significativamente com a produtividade de grãos, massa de 100 grãos, esterilidade de espiguetas e com o número de grãos por panícula em baixo teor de fósforo no solo; por outro lado a produ-

tividade de grãos em baixo teor de fósforo se correlacionou com a esterilidade de grãos e com o número de grãos por panícula porém não se correlacionou com a massa de 100 grãos (Tabela 4). Considerando-se que esses componentes da produtividade, massa de 100 grãos, esterilidade de espiguetas e número de grãos por panícula, são influenciados pelo nível de P no solo (Fageria, 1999) e que a massa de 100 grãos não se correlacionou com a produtividade do arroz de terras altas sob condições de baixa disponibilidade de P no solo, este não pode ser considerado um indicador confiável da eficiência do uso do P no solo pelo arroz de terras altas; fato explicado em razão da produtividade em baixo P não expressar apenas o efeito da disponibilidade de P no solo, enquanto o IP expressa o diferencial relativo de produtividade das linhagens em condições de alta e baixa disponibilidade de P no solo, considerando-se também a pressão do estresse em que as linhagens foram avaliadas.

Na seleção das linhagens considerou-se a produtividade em alto P, pois são desejáveis a divergência fenotípica na eficiência do uso do P quando em baixa disponibilidade no solo e a eficiência produtiva quando em alta disponibilidade. Conforme a distribuição das linhagens em quartis, dois grupos foram selecionados: o primeiro se compunha das linhagens CNA 4634, CNA 4120 e CNA 3178, caracterizadas por apresentarem produtividade acima de 1619 kg ha⁻¹ (média da produtividade das linhagens sem o estresse de baixa disponibilidade de P no solo) e IP inferior a 0,95 (média do índice de eficiência do uso de P), ou seja, apresentam bom comportamento produtivo tanto em alto como em baixo P no solo; o outro grupo das linhagens, CNA 4108, CNA 4141, CNA 4640, CNA 2721, CNA 4150, CNA 4476, CNA 4474, CNA 5171, CNA 4181, CNA 1462, CNA 4125, CNA 2042, CNA 1168, CNA 4178, CNA 5165, CNA 2720, CNA 5164, CNA 8521, CNA 4140, CNA 5166, CNA 4617 e CNA 4164, que produziram acima de 1619 kg ha⁻¹, porém IP superior a 0,95, isto é, apresentam bom comportamento produtivo em alto P no solo; entretanto, não são eficientes no aproveitamento de baixo P disponível no solo (Figura 1). Os outros quartis, por enquadrarem as linhagens que apresentam baixo comportamento produtivo sob boa disponibilidade de P no solo, não foram considerados.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para os componentes agrônômicos produtividade de grãos, massa da matéria seca das plantas (MS), índice de colheita (IC), massa de 100 grãos (MS100), esterilidade de espiguetas (EE), número de grãos por panícula (GPAN), altura das plantas e índice de eficiência do uso de fósforo no solo (IP)

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio ¹							
		Produtividade (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	IC (%)	MS100 (g)	EE (%)	GPAN (Nº)	Altura (cm)	IP
Nível fósforo (P)	1	99.574.500,44***	79,73**	51,50 ^{ns}	0,06 ^{ns}	732,19**	76.099,39***	22.716,12***	-
Erro a	4	1.222.236,72	1,70	71,70	0,21	27,91	598,76	233,12	0,03
Linhagens (L)	50	306.566,87***	2,31***	212,04***	0,68***	185,57***	2.009,85***	494,23***	0,10***
P x L	50	285.530,18***	0,64**	67,66*	0,13 ^{ns}	55,49 ^{ns}	765,80 ^{ns}	50,41 ^{ns}	-
Erro b	200	76.919,42	0,37	47,34	0,09	41,08	720,31	62,64	-
CV (%)		26,46	24,13	14,63	10,37	36,5	27,15	8,96	18,81

¹ ns – F não-significativo a 5%; * – F significativo a 5%; ** – F significativo a 1%; *** – F significativo a 0,1%

Tabela 2. Produtividade, índice de eficiência do uso de fósforo, índice de colheita e esterilidade de espiguetas das linhagens avaliadas para a eficiência ao uso de fósforo¹

Linhagens	Produtividade (kg ha ⁻¹)		IP ²	Índice de colheita (%)		Esterilidade Espiguetas (%)	
	C/fósforo	S/fósforo		C/fósforo	S/fósforo	C/fósforo	S/fósforo
CNA 2826	693 b	406 b	0,57 b	17,18 d	35,86 b	44,46 a	32,83 a
CNA 4179	874 b	419 b	0,72 b	54,70 a	54,06 a	8,23 c	15,97 b
CNA 2739	979 b	228 c	1,07 a	45,62 b	44,21 b	9,05 c	11,91 b
CNA 0486	1031 b	411 b	0,86 a	43,21 b	45,15 b	25,93 b	26,38 a
CNA 2836	1054 b	398 b	0,87 a	31,07 c	33,59 b	24,39 b	17,46 b
CNA 3373	1072 b	473 a	0,68 b	54,29 a	53,65 a	14,24 c	19,07 b
CNA 4411	1076 b	419 b	0,84 a	37,96 c	45,07 b	13,06 c	21,71 a
CNA 0799	1140 b	327 c	0,98 a	41,23 c	47,69 a	21,72 b	15,96 b
CNA 4291	1166 b	782 a	0,32 b	37,57 c	55,42 a	30,92 b	22,35 a
CNA 1383	1197 b	588 a	0,69 b	43,51 b	51,08 a	20,14 c	17,36 b
CNA 5163	1208 b	658 a	0,56 b	51,99 a	45,24 b	12,00 c	23,51 a
CNA 2523	1269 b	424 b	0,91 a	38,02 c	40,02 b	23,67 b	29,07 a
CNA 4171	1297 b	501 a	0,87 a	51,96 a	50,64 a	16,24 c	12,63 b
CNA 4148	1303 b	578 a	0,73 b	40,55 c	38,30 b	16,78 c	21,53 a
CNA 6571	1325 b	777 a	0,58 b	54,38 a	43,85 b	15,71 c	22,97 a
CNA 3289	1351 b	290 c	1,10 a	46,14 b	44,37 b	12,87 c	19,98 b
CNA 5021	1396 b	478 a	0,93 a	60,53 a	52,40 a	13,25 c	14,72 b
CNA 5167	1429 b	527 a	0,89 a	47,62 b	43,52 b	8,25 c	23,14 a
CNA 4105	1449 a	448 b	0,99 a	54,57 a	41,54 b	14,14 c	17,23 b
CNA 6564	1481 b	440 b	0,92 a	56,17 a	45,95 b	7,37 c	20,20 b
CNA 4166	1484 a	315 c	1,12 a	48,40 b	45,65 b	8,98 c	14,06 b
CA 780284	1537 a	532 a	0,91 a	40,73 c	40,10 b	14,88 c	17,05 b
CNA 4180	1538 a	412 b	1,03 a	53,84 a	49,49 a	9,82 c	13,98 b
CNA 4144	1553 a	521 a	0,94 a	34,42 c	42,25 b	18,95 c	28,25 a
CNA 2865	1557 a	503 a	0,95 a	44,94 b	48,24 a	22,22 b	19,83 b
CNA 6430	1573 a	432 b	1,04 a	47,97 b	45,40 b	13,86 c	13,86 b
CNA 2042	1678 a	408 b	1,06 a	44,67 b	48,14 a	14,24 c	15,08 b
CNA 2721	1680 a	482 a	0,99 a	31,67 c	43,03 b	34,68 a	27,93 a
CNA 5171	1685 a	431 b	1,03 a	46,52 b	47,02 b	25,61 b	16,64 b
CNA 4634	1703 a	727 a	0,82 b	44,34 b	43,54 b	18,04 c	29,34 a
CNA 4125	1721 a	429 b	1,05 a	46,07 b	41,49 b	10,43 c	11,98 b
CNA 3178	1756 a	604 a	0,92 a	51,54 a	51,95 a	15,72 c	18,38 b
CNA 4150	1761 a	504 a	1,01 a	50,38 b	45,67 b	14,89 c	17,09 b
CNA 1168	1841 a	436 b	1,08 a	47,22 b	43,34 b	14,20 c	21,61 a
CNA 4178	1861 a	429 b	1,08 a	47,05 b	45,65 b	20,37 c	26,77 a
CNA 5166	1897 a	268 c	1,20 a	55,20 a	45,57 b	15,51 c	16,47 b
CNA 4181	1939 a	507 a	1,04 a	46,38 b	47,89 a	9,40 c	14,56 b
CNA 4108	1968 a	662 a	0,95 a	45,58 b	43,56 b	8,06 c	15,65 b
CNA 4141	1988 a	618 a	0,96 a	50,94 b	52,36 a	9,56 c	16,32 b
CNA 4474	1997 a	546 a	1,03 a	47,16 b	42,18 b	10,19 c	13,61 b
CNA 1462	1998 a	465 b	1,05 a	50,14 b	42,79 b	16,84 c	27,46 a
CNA 5164	2017 a	378 b	1,15 a	57,22 a	45,63 b	14,43 c	18,53 b
CNA 4640	2065 a	606 a	0,98 a	43,80 b	51,50 a	18,46 c	15,57 b
CNA 4164	2068 a	261 c	1,24 a	54,83 a	50,59 a	12,70 c	8,27 b
CNA 5165	2118 a	440 b	1,12 a	56,58 a	54,95 a	10,90 c	11,95 b
CNA 8521	2177 a	389 b	1,16 a	49,81 b	51,95 a	16,50 c	18,87 b
CNA 2720	2202 a	417 b	1,13 a	58,91 a	52,88 a	14,09 c	22,51 a
CNA 4120	2217 a	650 a	0,90 a	47,62 b	55,25 a	11,94 c	19,72 b
CNA 4617	2333 a	330 c	1,20 a	61,77 a	53,42 a	12,84 c	11,61 b
CNA 4476	2349 a	658 a	1,02 a	55,67 a	51,01 a	10,50 c	24,69 a
CNA 4140	2509 A	440 b	1,17 a	50,19 b	43,89 b	14,67 c	20,07 b

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferiram significativamente a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott² IP – Índice de eficiência do uso de fósforo

Tabela 3. Matéria seca, massa de 100 grãos, número de grãos por panícula e altura das plantas das linhagens avaliadas para a eficiência ao uso de fósforo¹

Linhagens	MS ² (g por planta)		Massa de 100 grãos (g)		Grãos por panícula (n°)		Altura planta (cm)	
	C/fósforo	S/fósforo	C/fósforo	S/fósforo	C/fósforo	S/fósforo	C/fósforo	S/fósforo
CNA 2826	5.230 a	3.483 a	1,99 d	2,85 a	117 a	107 a	110 a	91 a
CNA 4179	1.610 c	1.597 a	3,52 a	2,98 a	70 b	79 a	81 c	75 b
CNA 2739	1.773 c	1.353 a	2,78 b	2,42 b	99 b	53 a	97 b	73 b
CNA 0486	2.340 c	1.900 a	2,52 c	2,83 a	103 b	92 a	95 c	87 a
CNA 2836	3.877 a	2.133 a	2,55 c	2,95 a	111 b	97 a	117 a	97 a
CNA 3373	1.213 c	627 a	2,30 c	2,28 b	83 b	44 a	57 d	41 c
CNA 4411	3.280 b	2.490 a	2,77 b	2,48 b	109 b	125 a	88 c	79 a
CNA 0799	2.163 c	1.467 a	2,29 c	2,53 b	72 b	64 a	86 c	73 b
CNA 4291	3.377 b	2.263 a	1,70 d	2,13 b	141 a	159 a	92 c	84 a
CNA 1383	3.500 b	2.243 a	3,07 b	2,90 a	126 a	116 a	106 a	95 a
CNA 5163	3.057 b	2.513 a	3,27 a	3,18 a	144 a	104 a	97 b	88 a
CNA 2523	4.393 a	2.220 a	2,49 c	2,75 b	152 a	84 a	116 a	87 a
CNA 4171	2.133 c	1.917 a	3,45 a	3,24 a	85 b	81 a	89 c	75 b
CNA 4148	4.430 a	1.887 a	2,87 b	2,65 b	133 a	62 a	100 b	78 b
CNA 6571	2.277 c	1.837 a	3,18 b	2,92 a	95 b	81 a	93 c	90 a
CNA 3289	2.513 c	1.947 a	2,96 b	2,56 b	118 a	86 a	78 c	67 b
CNA 5021	1.987 c	1.827 a	3,10 b	2,91 a	133 a	88 a	94 c	83 a
CNA 5167	2.397 c	1.940 a	3,50 a	3,06 a	76 b	73 a	97 b	83 a
CNA 4105	2.060 c	1.543 a	3,17 b	3,29 a	95 b	51 a	91 c	70 b
CNA 6564	1.897 c	2.067 a	3,10 b	3,03 a	101 b	76 a	90 c	80 a
CNA 4166	2.980 c	2.043 a	3,35 a	3,39 a	90 b	68 a	98 b	81 a
CA 780284	4.847 a	2.510 a	2,93 b	2,73 b	138 a	76 a	104 b	81 a
CNA 4180	2.037 c	1.700 a	3,56 a	3,48 a	82 b	55 a	90 c	76 b
CNA 4144	4.047 a	2.400 a	2,64 c	2,99 a	103 b	81 a	97 b	80 a
CNA 2865	3.460 b	2.167 a	2,40 c	2,81 a	120 a	87 a	108 a	88 a
CNA 6430	2.673 c	1.817 a	3,05 b	2,89 a	101 b	64 a	96 b	75 b
CNA 2042	3.587 b	2.230 a	3,10 b	3,08 a	123 a	88 a	101 b	84 a
CNA 2721	4.047 a	2.330 a	2,54 c	2,97 a	129 a	96 a	111 a	88 a
CNA 5171	3.323 b	1.653 a	3,04 b	3,03 a	125 a	67 a	91 c	68 b
CNA 4634	3.847 a	2.633 a	2,99 b	3,20 a	139 a	97 a	99 b	81 a
CNA 4125	3.020 b	3.007 a	3,05 b	3,09 a	97 b	80 a	102 b	81 a
CNA 3178	3.970 a	2.480 a	3,14 b	3,07 a	143 a	111 a	103 b	84 a
CNA 4150	3.093 b	2.480 a	3,01 b	2,92 a	97 b	92 a	102 b	86 a
CNA 1168	3.783 a	1.993 a	3,27 a	3,20 a	143 a	72 a	98 b	80 a
CNA 4178	3.837 a	2.080 a	3,12 b	2,87 a	153 a	91 a	105 a	81 a
CNA 5166	2.583 c	1.917 a	3,60 a	3,18 a	106 b	74 a	98 b	76 b
CNA 4181	3.827 a	2.417 a	3,08 b	3,49 a	128 a	92 a	106 a	82 a
CNA 4108	2.873 c	1.933 a	3,09 b	2,93 a	85 b	71 a	98 b	86 a
CNA 4141	2.880 c	2.057 a	3,27 a	3,10 a	102 b	95 a	86 c	77 b
CNA 4474	3.193 b	1.963 a	2,24 c	2,19 b	153 a	86 a	100 b	78 b
CNA 1462	3.137 b	1.863 a	3,56 a	3,14 a	123 a	67 a	90 c	68 b
CNA 5164	2.120 c	1.747 a	3,31 a	3,03 a	106 b	72 a	94 c	74 b
CNA 4640	3.850 a	2.057 a	3,00 b	3,16 a	128 a	92 a	98 b	79 a
CNA 4164	2.100 c	1.687 a	3,49 a	3,03 a	93 b	63 a	90 c	76 b
CNA 5165	2.307 c	1.490 a	3,50 a	3,44 a	101 b	65 a	94 c	75 b
CNA 8521	3.190 b	1.833 a	2,92 b	3,41 a	108 b	82 a	103 b	84 a
CNA 2720	2.747 c	1.990 a	3,23 a	3,04 a	143 a	103 a	112 a	91 a
CNA 4120	3.760 a	1.917 a	3,09 b	3,29 a	135 a	79 a	112 a	86 a
CNA 4617	2.207 c	1.533 a	3,08 b	2,96 a	127 a	81 a	85 c	68 b
CNA 4476	2.430 c	1.990 a	3,00 b	2,99 a	108 b	91 a	97 b	82 a
CNA 4140	4.073 a	2.097 a	3,26 a	3,00 a	159 a	81 a	103 b	77 b

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferiram significativamente a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott² MS – Matéria seca da parte aérea das plantas

Tabela 4. Coeficiente de correlação entre as variáveis avaliadas: produtividade, matéria seca das plantas (MS), índice de colheita (IC), matéria seca de 100 grãos (MS100), esterilidade de espiguetas (EE), número de grãos por panícula (GPAN) e altura das plantas, em condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo, e índice de eficiência do uso de fósforo (IP), tomando-se como referência a produtividade de grãos

	Produtividade (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	IC	MS100 (g)	EE (%)	GPAN	Altura (cm)
MS (kg ha ⁻¹)	0,267 0,058						
IC	0,130 0,364	-0,414 0,002					
MS100 (g)	-0,034 0,810	0,111 0,437	0,133 0,353				
EE (%)	0,317 0,024	0,409 0,003	-0,369 0,008	-0,120 0,401			
GPAN	0,439 0,001	0,618 <0,0001	0,125 0,382	-0,222 0,118	0,353 0,011		
Altura (cm)	0,312 0,026	0,650 <0,0001	-0,2334 0,098	0,193 0,176	0,282 0,045	0,572 <0,0001	
IP	-0,626 <0,0001	-0,241 0,089	0,045 0,756	0,384 0,005	-0,405 0,003	-0,474 <0,0001	-0,216 0,127

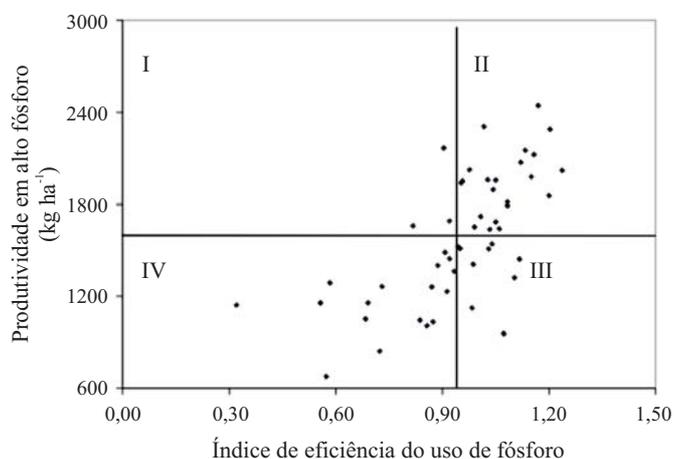


Figura 1. Distribuição das linhagens em quartis delimitados pelo índice de eficiência do uso de fósforo e pela produtividade de grãos no tratamento sem deficiência de fósforo no solo, nos pontos determinados por suas médias

CONCLUSÕES

1. O índice de eficiência do uso de fósforo mostrou ser mais adequado que a produtividade de grãos em baixo teor de fósforo no solo na avaliação da eficiência diferenciada das linhagens no uso do P.

2. As linhagens CNA 4634, CNA 4120 e CNA 3178 apresentam bom comportamento produtivo tanto em alto como em baixo teor de P no solo, enquanto as CNA 4108, CNA 4141, CNA 4640, CNA 2721, CNA 4150, CNA 4476, CNA 4474, CNA 5171, CNA 4181, CNA 1462, CNA 4125, CNA 2042, CNA 1168, CNA 4178, CNA 5165, CNA 2720, CNA 5164, CNA 8521, CNA 4140, CNA 5166, CNA 4617 e CNA 4164, indicaram bom comportamento produtivo em alto teor de P no solo; entretanto, não são eficientes no aproveitamento de baixo P disponível no solo.

LITERATURA CITADA

- Aboulroos, S. A.; Nielsen, N. E. Effects of phosphorus placement in varying, confined volumes of soil on fineness and density of barley roots and the mean rate of nutrient uptake per root unit. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Stockholm, v.29, n.4, p.331-336, 1979.
- Claessen, M. E. C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- Dobermann, A.; Cassman, K. G.; Mamaril, C. P.; Sheehy, J. E. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.56, p.113-138, 1998.
- Eissenstar, D. M. Costs and benefits of construction roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.15, p.763-782, 1992.
- Fageria, N. K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.1, p.1-9, 1982.
- Fageria, N. K. Nutrição mineral. In: Vieira, N. R. de A.; Santos, A. B. dos; Sant'Ana, E. P. (eds.). *A cultura do arroz no Brasil*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.172-196.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C. Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.20, n.4/5, p.499-509, 1997.
- Fisher, R. A.; Maurer, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.29, p.897-912, 1978.
- Gahoonia, T. S.; Nielsen, N. E. Variation in root hairs of barley cultivars doubled soil phosphorus uptake. *Euphytica*, Wageningen, v.98, p.177-182, 1997.
- Gourley, C. J. P.; Allan, D. L.; Russelle, M. P. Defining phosphorus efficiency in plants. *Plant and Soil*, The Hague, v.156, p.289-292, 1993.

- Haynes, R. J.; Ludecke, T. E. Yield, root morphology and chemical composition of two legumes as affected by lime and phosphorus applications to an acid soil. *Plant and Soil*, The Hague, v.62, p.241-254, 1981
- Horst, W. J.; Kamh, M.; Jibrin, J. M.; Chude, V. O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, The Hague, v.237, p.211-223, 2001.
- Lynch, J. P.; Brown, K. M. Topsoil foraging: an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil*, The Hague, v.237, p.225-237, 2001.
- Otani, T.; Ae, N. Sensitivity of phosphorus uptake to change in root length and soil volume. *Agronomy Journal*, Madison, v.88, p.371-375, 1996.
- Sanchez, P. A.; Salinas, J. G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Advances in Agronomy*, New York, v.34, p.279-406, 1981.
- Sattelmacher, B.; Horst, W. J.; Becker, H. C. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Zeitschrift fur Pflanzenernaehrung und Bodenkunde*, Berlin, v.157, p.215-224, 1994.
- Wissuwa, M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency – small causes with big effects. *Plant Physiology*, Bethesda, v.133, p.1947-1958, 2003.
- Wissuwa, M. Combining a modeling with a genetic approach in establishing associations between genetic and physiological effects in relation to phosphorus uptake. *Plant and Soil*, The Hague, v.269, n.1/2, p.57-68, 2005.
- Wissuwa, M.; Ae, N. Genotypic variation for tolerance to phosphorus deficiency in rice and the potential for its exploitation in rice improvement, *Plant Breeding*, The Hague, v.120, p.43-48, 2001.