

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO ARROZ.
XVI. ABSORÇÃO RADICULAR E FOLIAR DO RÁDIO FÓSFORO
POR DIVERSAS VARIEDADES *

E. MALAVOLTA **, A.F. VECCHIATO ***,
H.W. TAKAHASHI ***, H.J. KLIEMANN***,
J.A. AZEVEDO ***, M.D. THOMAZI ***,
P.J. CARVALHO GENÚ ***, S.R.F. LEÃO***

RESUMO

Estudando-se a absorção do rádio fósforo por raízes destacadas das variedades IAC-164, 165 e 1246, Batatais, Caqui, Dourado precoce, 90 dias e Senbon (as primeiras nacionais, a última japonesa) verificou-se diferença entre as mesmas na cinética de absorção. Nas condições experimentais, obteve-se evidência de um padrão duplo de absorção do ânion fosfato.

-
- * Entregue para publicação em 23/09/1982. Com ajuda da FAPESP, CNEN, CNPq e BNDE.
- ** Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz" USP.
- *** Estudantes de Pós-Graduação, Disciplina LQI-860, Nutrição Mineral de Plantas.

A absorção radicular mostrou-se mais eficiente que a foliar em termos de quantidade absorvida e de transporte a longa distância

INTRODUÇÃO

Aceita-se com pouca ou nenhuma discussão, que a falta de fósforo seja o fator nutricional que com mais frequência limita no Brasil a produção de culturas anuais.

Por esse motivo o P_2O_5 representa mais ou menos a metade do total de macronutrientes primários aplicados anualmente no País.

Há, entretanto, um interesse óbvio em se aumentar a eficiência do aproveitamento do fósforo do adubo.

Para isso um dos enfoques consiste no emprego de variedades que tenham maior eficiência na utilização do P a qual, em parte, é devida a uma capacidade maior de absorver o elemento do solo.

RASTORI *et alii* (1981) observaram que há diferenças significativas na capacidade de absorção de ^{32}P por diferentes variedades de arroz e a absorção máxima de P foi observada no estágio de emborrachamento. No entanto, os autores constataram que a percentagem de utilização do fósforo decresceu significativamente com os teores de P adicionado.

SINHA *et alii* (1980) verificaram significativas diferenças entre variedades de arroz no índice de absorção de P. As variedades que apresentaram maior índice de absorção de P, também proporcionaram as maiores produções, indicando diferentes capacidades de extração de P entre variedades.

A aplicação foliar de P, contornando a dificuldade

apresentada pela fixação é outro expediente de que se pode lançar mão para aumentar o aproveitamento.

O presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- 1) comparar, através de estudos cinéticos, a absorção do P por diversas variedades de arroz;
- 2) comparar a eficiência da absorção radicular com a foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

Estes ensaios foram realizados nos laboratórios e em casas de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP).

Foram utilizadas 8 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) IAC-164, IAC-165, IAC-1246, Senbon, Caqui, Bata-tais, 90 Dias e Dourado Precoce para ensaio com raízes destacadas e 3 variedades IAC-164, 90 Dias e Senbon para absorção radicular (plantas inteiras) e foliar.

Mudas

As mudas foram obtidas procedendo-se à sementeira em vermiculita umedecida com $\text{CaSO}_4 10^{-4}\text{M}$, e estas, uma semana após, foram transplantadas para bandejas plásticas de 30 litros de capacidade contendo a solução N° 2 de HOA GLAND & ARNON (1950), diluída 1:5. Para ensaios com raízes destacadas foram utilizadas mudas com 2-3 semanas de idade e nos ensaios de absorção foliar e radicular, mudas com 100-110 dias de idade.

Ensaio com raízes destacadas em função do tempo de contato

As raízes foram destacadas logo abaixo do colo, la

vadas e colocadas em frascos de 200 ml, contendo 100 ml de $\text{Na H}_2\text{P}^{32}\text{O}_4$ 10^{-4} M 1 ml de $\text{Mg SO}_4 \cdot 2 \times 10^{-2}$ M e 1 ml de $\text{Na H}_2\text{P}^{32}\text{O}_4$ livre de carregador.

Os tratamentos foram feitos com 3 repetições, deixando as raízes durante 10, 30, 180 e 240 minutos em contato com o substrato.

Decorrido o tempo de contato, as raízes foram retiradas e lavadas com água destilada dentro de um frasco, agitando-o durante 1 minuto e repetindo-se a operação por três vezes. As raízes lavadas foram enxugadas com papel absorvente, colocadas em saco de papel e secas em estufa a 70-80°C.

Depois de seco, o material foi pesado, e em seguida moído em almofariz e digerido com ácido nítrico -perclórico. O volume do extrato foi completado a 20 ml, dos quais foram transferidos 4 ml para cubetas, que após serem secas em estufa, foram levadas para a contagem no escalímetro com contador G-M (Geiger-Müller) de janelas finas.

A referência foi obtida transferindo 1 ml da solução de trabalho, completada a 100 ml, dos quais tomou-se 1 ml para contagem.

Os resultados obtidos em cpm (contagens por minuto) foram transformados para micromoles de P por g de matéria seca de raiz.

Ensaio com raízes destacadas em função da concentração iônica externa

Neste ensaio foram utilizadas raízes destacadas, obtidas de modo análogo ao do estudo de tempo de contato.

Foram utilizadas 4 concentrações externas de fósforo, 10^{-8} , 10^{-6} , 10^{-4} e 10^{-2} M, com 3 repetições, fixando-se o tempo de contato em 180 minutos.

As raízes tratadas foram preparadas para contagem de maneira semelhante àquela do estudo de tempo de contato. O extrato digerido foi completado a 20 ml, sendo \bar{p}_i pipetados 5 ml para contagem.

Absorção foliar x radicular

(1) Foliar

Em duas folhas medianas de cada vaso, previamente escolhidos foram aplicados 1 ml de ^{32}P nas duas faces com a ajuda de um cotonete, sendo em seguida identificadas por um barbante na sua base.

Passada uma semana, essas plantas foram colhidas e separadas em raiz, folha tratada, folha abaixo, folha acima, colmo acima e colmo abaixo da tratada. As folhas foram devidamente lavadas para eliminar o material não absorvido.

Esses materiais de plantas, colocados em saco de papel devidamente etiquetados, foram secos em estufa a 70-80°C.

O material seco e digerido foi completado a 10 ml, dos quais pipetou-se 1 ml para a contagem.

(2) Radicular

Foi adicionado à solução nutritiva 1 ml de ^{32}P e deixados durante uma semana.

As plantas foram colhidas e separadas em raiz tratada, colmo inferior, colmo superior, folhas inferiores e folhas superiores. O preparo da amostra para contagem é idêntico ao descrito.

Cinética de absorção

A absorção de fósforo em diferentes concentrações,

por raízes destacadas de arroz, foi interpretada segundo a equação de Michaelis-Menten, dada pela seguinte expressão:

$$v = V \frac{[M]}{[M] + K_m}$$

v = velocidade de absorção
 V = velocidade máxima de absorção
 $[M]$ = concentração externa do elemento M
 K_m = constante de Michaelis

Para a confecção do gráfico foi utilizada a transformação linear de Hofstee, correspondente à equação da reta $Y = aX + b$, sendo que

$$Y = v$$

$$X = v/[P]$$

Análise Estatística

(1) Análise de variância

Os resultados obtidos foram analisados segundo o delineamento inteiramente casualizado.

Para a comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey a 5%.

(2) Correlação e regressão

Para determinar o grau de correlação entre as variáveis estudadas e o fósforo absorvido, foram testados os modelos matemáticos ($y = ax + b$), quadrático ($y = ax^2 + bx + c$), logaritmico ($y = a + b \ln x$), potencial ($y = ax^b$) e exponencial ($y = ae^{bx}$). Após os testes selecionou-se o melhor modelo, com base no maior valor do coe

ficiente de correlação (r) calculado, o qual indicava o melhor ajuste aos dados de observação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do tempo na absorção do ^{32}P por raízes destacadas de arroz

A Tabela 1 apresenta os valores médios da absorção de P, em função do tempo de contato das raízes com a solução externa (NaH_2PO_4 , 10^{-4} M), por 8 variedades de arroz.

As variedades IAC-164, IAC-165, Caqui, 90 Dias e Dourado Precoce apresentam comportamento semelhante: as quantidades de P absorvido ($\mu\text{moles/g m.s.}$), nos intervalos de 10 e 30 minutos não diferiram significativamente, entre si, mas mostraram contrastes de médias muito significativos (teste de Tukey a 5% de probabilidade) em relação aos tempos de 180 e 240 minutos. Estes, por sua vez, proporcionaram um aumento muito significativo de absorção, embora não tenham diferido entre si. Isso indica, segundo MALAVOLTA et alii (1979), que deve existir um valor limite para a absorção de P por raízes destacadas, pois não havendo translocação, a absorção não pode continuar indefinidamente.

As variedades IAC-1246, Batatais e Senbon apresentaram comportamento similar entre si, diferindo todavia, das demais, com respeito à significância entre os tempos 180 e 240 minutos. As quantidades de P absorvido nos intervalos de tempo de 10 e 30 minutos de contato, também não acusaram contrastes de médias muito significativos. No entanto, com o aumento do tempo de contato, isto é, de 30 para 180 e depois para 240 minutos, os acréscimos nas quantidades de P absorvido foram significativos. Possivelmente, as raízes destacadas dessas três variedades de arroz necessitam de maior tempo para atingir a máxima saturação. MALAVOLTA et alii (1979) constataram que em

Tabela 1 - Efeito do tempo na absorção radicular de ^{32}P (micromoles de P/g m.s.) por raízes destacadas de 8 variedades de arroz, (média de 3 repetições).
Concentração externa: $\text{NaH}_2\text{PO}_4 10^{-4}\text{M}$.

Variedades	Tempo (minutos)				F
	10	30	180	240	
IAC-164	1,63b*	1,46b	4,66a	6,83a	11,24**
IAC-165	1,46b	1,16b	8,53a	6,93a	23,88**
IAC-1246	1,13c	2,10c	6,96b	10,06a	29,88**
Caqui	0,90b	0,96b	4,90a	4,56a	8,14**
Bataiais	0,80c	1,86c	7,00b	14,83a	69,17**
90 Dias	1,46b	2,46b	6,16a	6,30a	10,51**
Senbon	2,70c	2,66c	7,73b	15,00a	57,21**
Dourado Precoce	1,53b	3,43b	9,30a	11,10a	35,39**

* Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade teste de Tukey.

CV% = 26,90 - dms = 2,90

plantas inteiras de sorgo sacarino a absorção de P foi sempre crescente, ao passo que para as raízes destacadas a absorção diminuiu após 180 minutos de contato. Neste trabalho, isto aconteceu apenas em duas variedades estudadas, IAC-164 e Caqui (Tabela 1).

As figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mostram os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados de absorção de P em função do tempo de contato.

Pela Figura 1 verifica-se que para os valores médios das diferentes variedades de arroz, a equação de regressão linear apresentou o mais alto coeficiente de correlação ($r = 0,998^{***}$), comparado com as outras testadas. Entretanto, o modelo linear não permite que se determine analiticamente, o tempo limite em que ocorre a absorção máxima de P.

Ao determinar as equações individuais para cada variedade de arroz, verifica-se pelas figuras 2, 3, 4, 5 e 6 que os modelos exponencial ($Y = a.e^{bx}$) e potencial ($Y = a.X^b$) apresentaram ajustamento mais estreito com os dados experimentais. Para as variedades IAC-164, IAC-165, Caqui e Senbon, o modelo exponencial se ajustou melhor, apresentando os coeficientes de correlação de $r = 0,991^{***}$, $r = 0,942^{**}$, $r = 0,968^{**}$ e $r = 0,991^{***}$, respectivamente. Para as variedades Batatais, Dourado Precoce, 90 Dias e IAC-1246, o modelo potencial foi o mais adequado, com valores de r compreendidos entre 0,987 e 0,998. MALAVOLTA et alii (1979), utilizando o modelo quadrático de regressão, verificaram que aos 180 minutos de contato, as raízes destacadas atingiram o máximo de absorção, ao passo que para plantas inteiras de sorgo sacarino a absorção foi crescente, mesmo após os 240 minutos de contato com a solução externa de P. NOGGLE & FRIED (1960), por outro lado, verificaram que a quantidade de P absorvido, em função do tempo, apresenta uma relação linear, usando soluções de $1.10^{-6}M$ e $5.10^{-4}M$ de P, num período de 10 minutos.

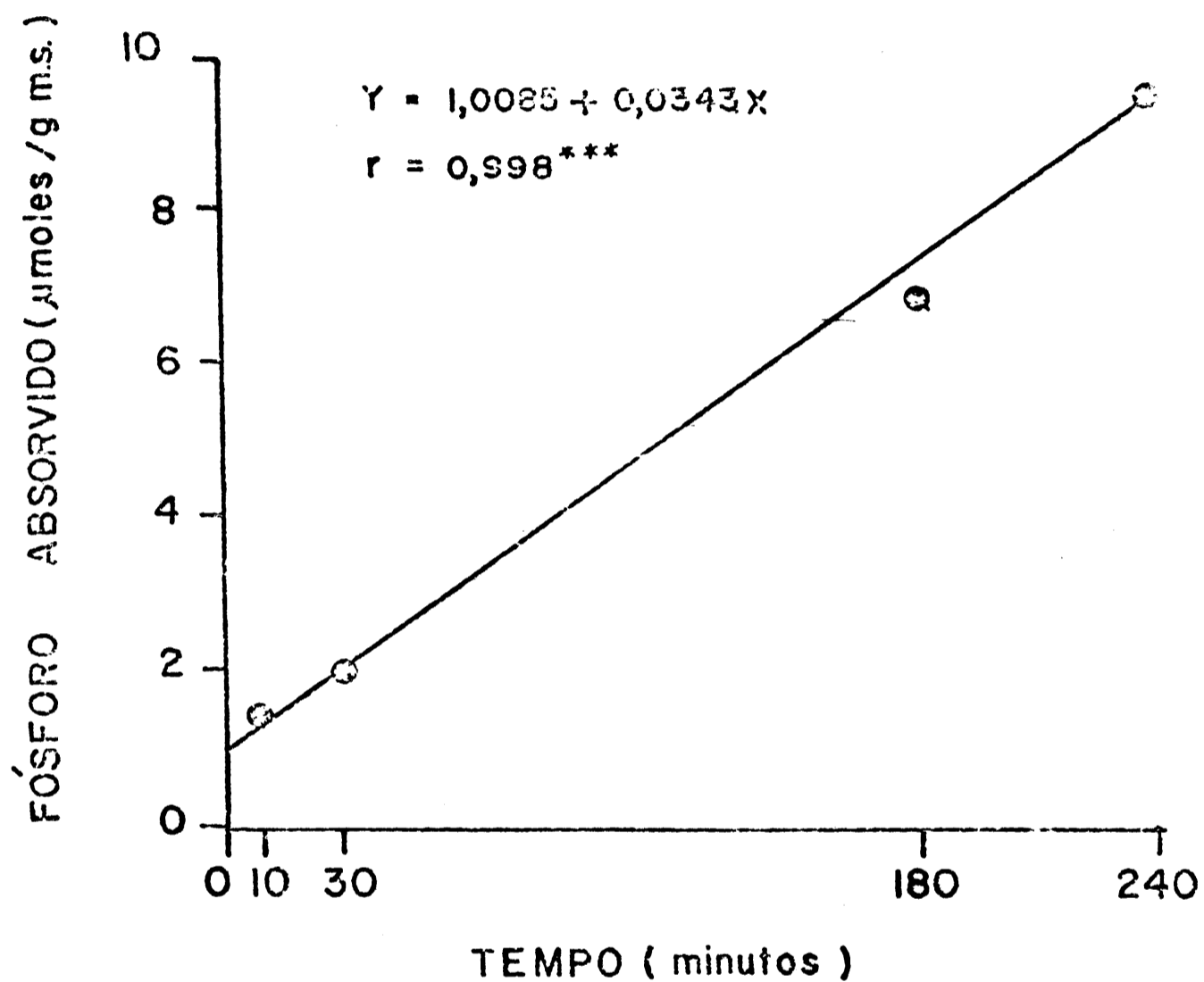


Figura 1 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz; média de 8 variedades.

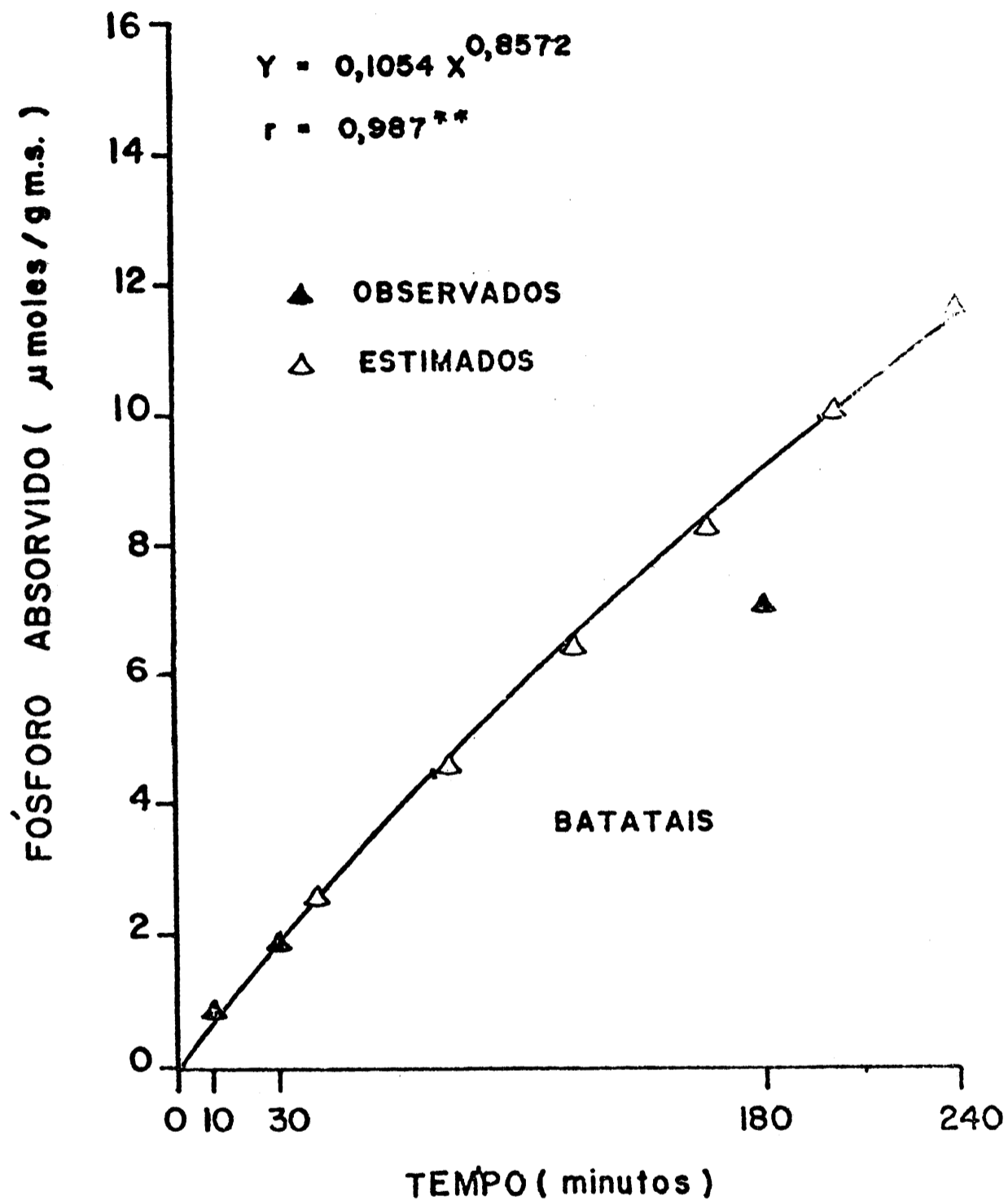


Figura 2 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz; variedade Batatais.

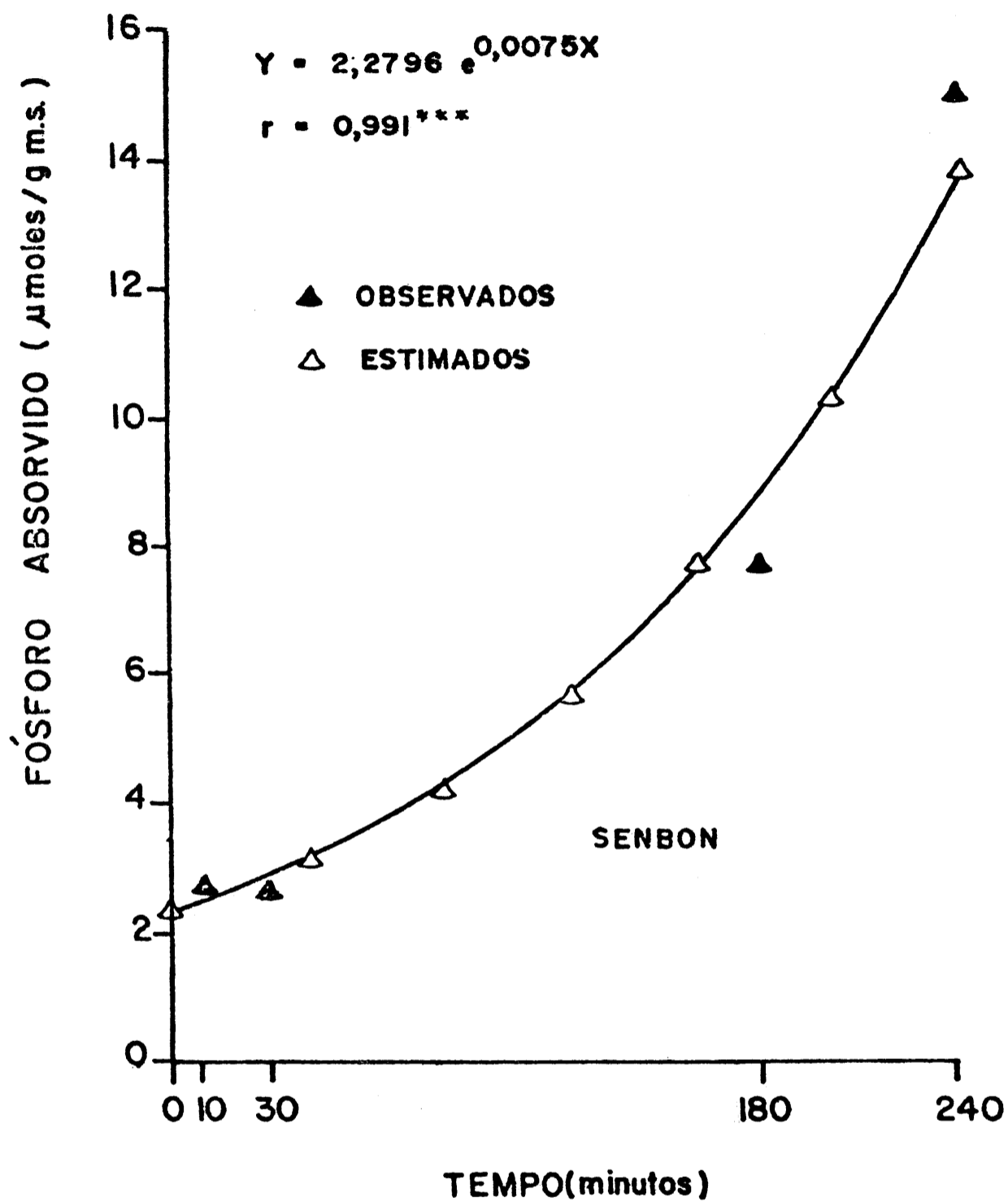


Figura 3 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz; variedade Senbon.

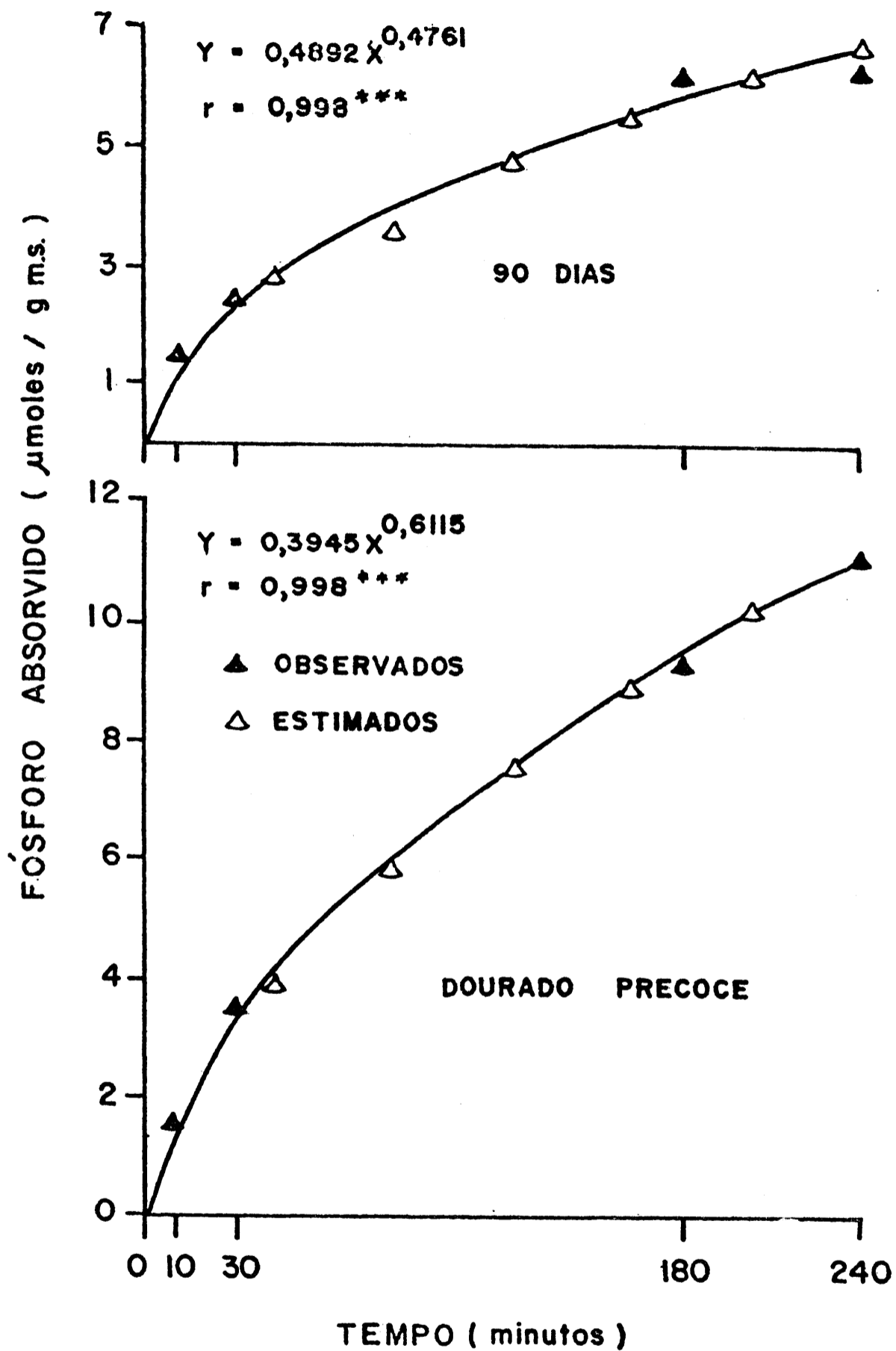


Figura 4 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz; variedades 90 Dias e Dourado Precoce.

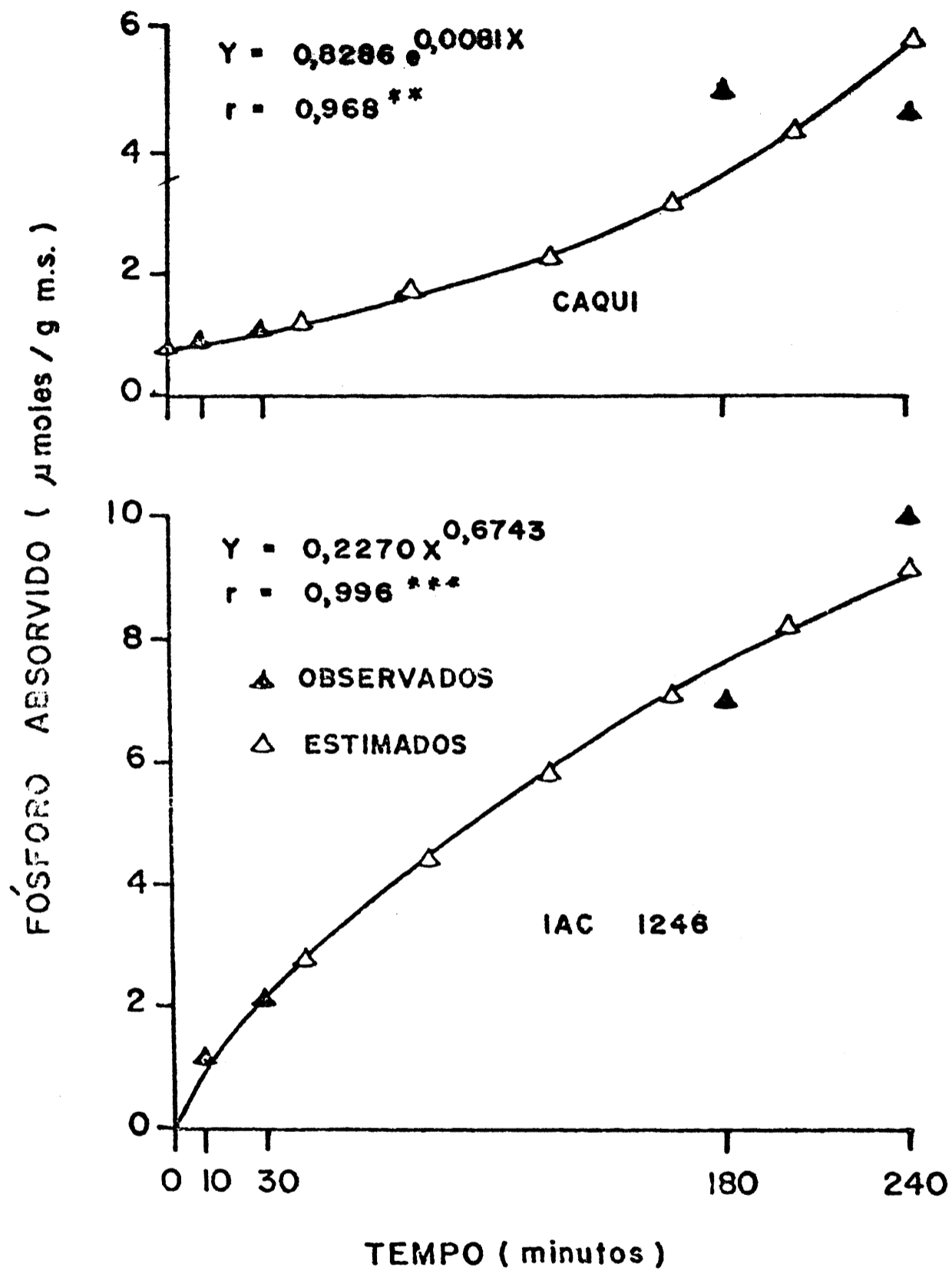


Figura 5 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz, variedades Caqui e IAC-1246.

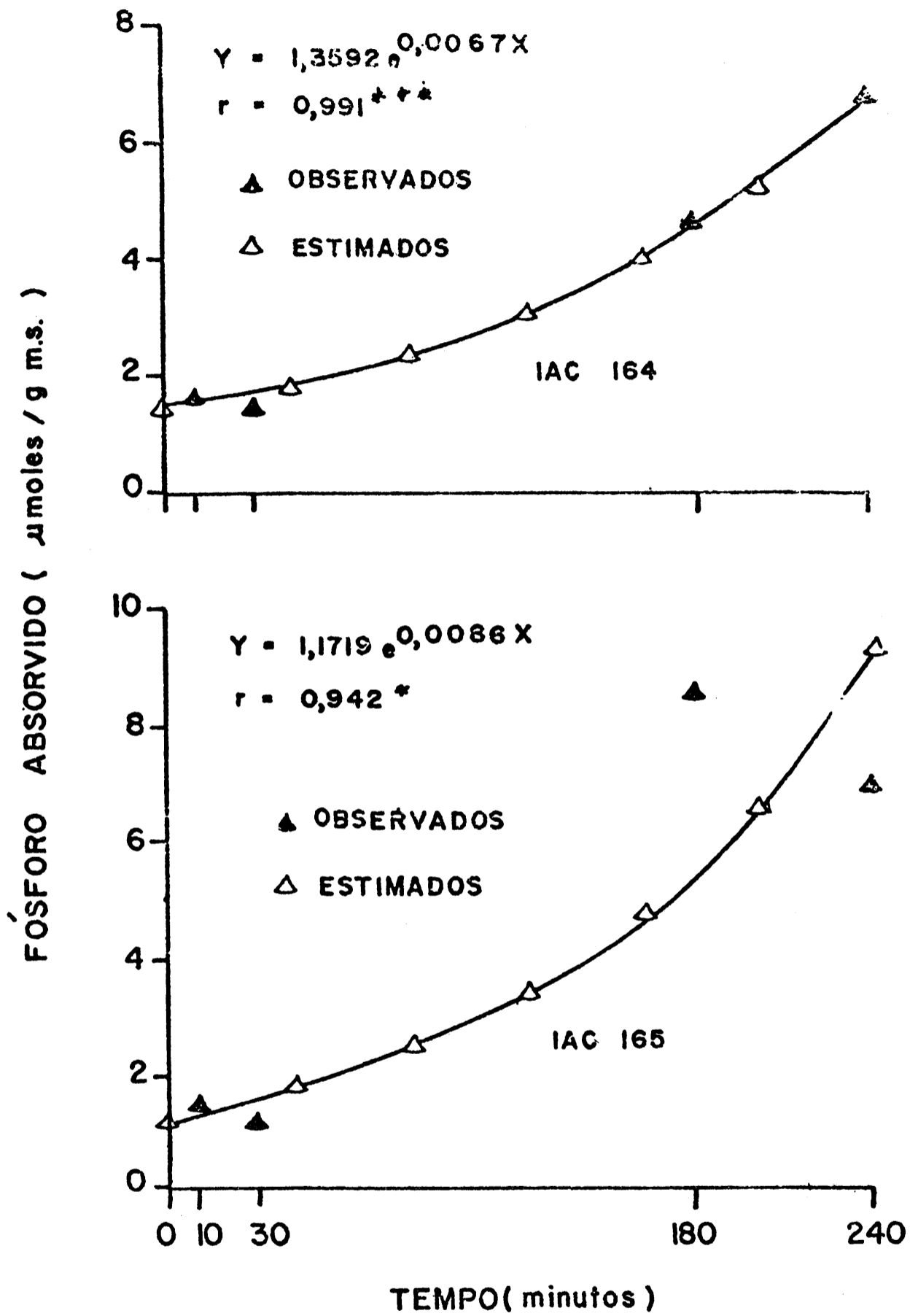


Figura 6 - Efeito do tempo de contato na absorção de fósforo em raízes destacadas de arroz, variedades IAC-164 e IAC-165.

Efeito da concentração iônica externa na absorção de fósforo por raízes destacadas de arroz

A Tabela 2 apresenta os valores médios de absorção de P por raízes destacadas de 8 variedades de arroz em função da concentração iônica externa.

As quantidades de P absorvido ($\mu\text{moles P/g m.s./3h}$) por 8 variedades de arroz, nas concentrações iônicas externas de 10^{-8} , 10^{-6} e 10^{-4} M não diferiram significativamente (teste de Tukey a 5%), mas quando a concentração iônica externa foi aumentada para 10^{-2} M houve aumento significativo na quantidade de P absorvido.

O comportamento das variedades dentro de cada concentração foi semelhante, com exceção da concentração 10^{-2} M, em que as variedades IAC-164, IAC-165, Batatais e Senbon, absorveram maiores quantidades de fósforo do que as demais, sendo estatisticamente diferentes quando comparadas com a IAC-1246, a Caqui Precoce e a 90 Dias.

Os pequenos acréscimos no P absorvido nas baixas concentrações de solução externa (10^{-8} , 10^{-6} e 10^{-4}), bem como o brusco aumento na concentração 10^{-2} M, podem ser observados nas figuras 7, 8 e 9. Isso indica que de vem existir mecanismos duplos de absorção de P para as diversas variedades de arroz, isto é, um mecanismo para altas concentrações e outro para baixas concentrações. Como se pode verificar pelas figuras 7, 8 e 9, a absorção de P por raízes destacadas de 8 variedades de arroz foi sempre crescente, o que confirma dados de MALAVOLTA et alii (1979) para raízes destacadas de sorgo sacarino. O tempo de 180 minutos fixado para avaliar as concentrações não foi suficiente para se verificar o ponto máximo de absorção. Esta dúvida é dirimida para algumas variedades, em que o modelo matemático potencial permite perceber que, se a absorção máxima de P não é atingida após os 180 minutos de contato, pelo menos os incrementos de absorção diminuem. Com efeito, MALAVOLTA et alii (1979) puderam evidenciar claramente que o ponto máximo de absorção de P por raízes destacadas de sorgo sacarino, somente foi atingido com tempos de contato superiores a 180 minutos.

Tabela 2 - Efeito da concentração iônica externa na absorção radicular do ^{32}P (micro moles de P/g m.s.) por raízes destacadas de 8 variedades de arroz (média de 3 repetições). Tempo: 180 minutos.

Variedades	Concentração				F
	10 ⁻⁸ M	10 ⁻⁶ M	10 ⁻⁴ M	10 ⁻² M	
IAC-164	0,003b	0,289b	9,242b	144,217a	210,77 **
IAC-165	0,002b	0,177b	4,984b	143,200a	211,53 **
Bataiais	0,003b	0,056b	10,307b	125,387a	157,94 **
Senbon	0,002b	0,165b	6,354b	122,971a	154,41 **
IAC-1246	0,003b	0,067b	9,087b	104,547a	109,51 **
Caqui	0,002b	0,360b	5,365b	100,327	102,50 **
Dourado Precoce	0,003b	0,358b	6,124b	98,682a	98,68 **
90 Dias	0,004c	0,409c	20,160b	97,389a	90,26 **

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

CV = 26,69

dms = 18,18

Médias abrangidas pelo mesmo traço na vertical não diferem significativamente entre si (concentração = 10⁻²M).

dms = 21,58

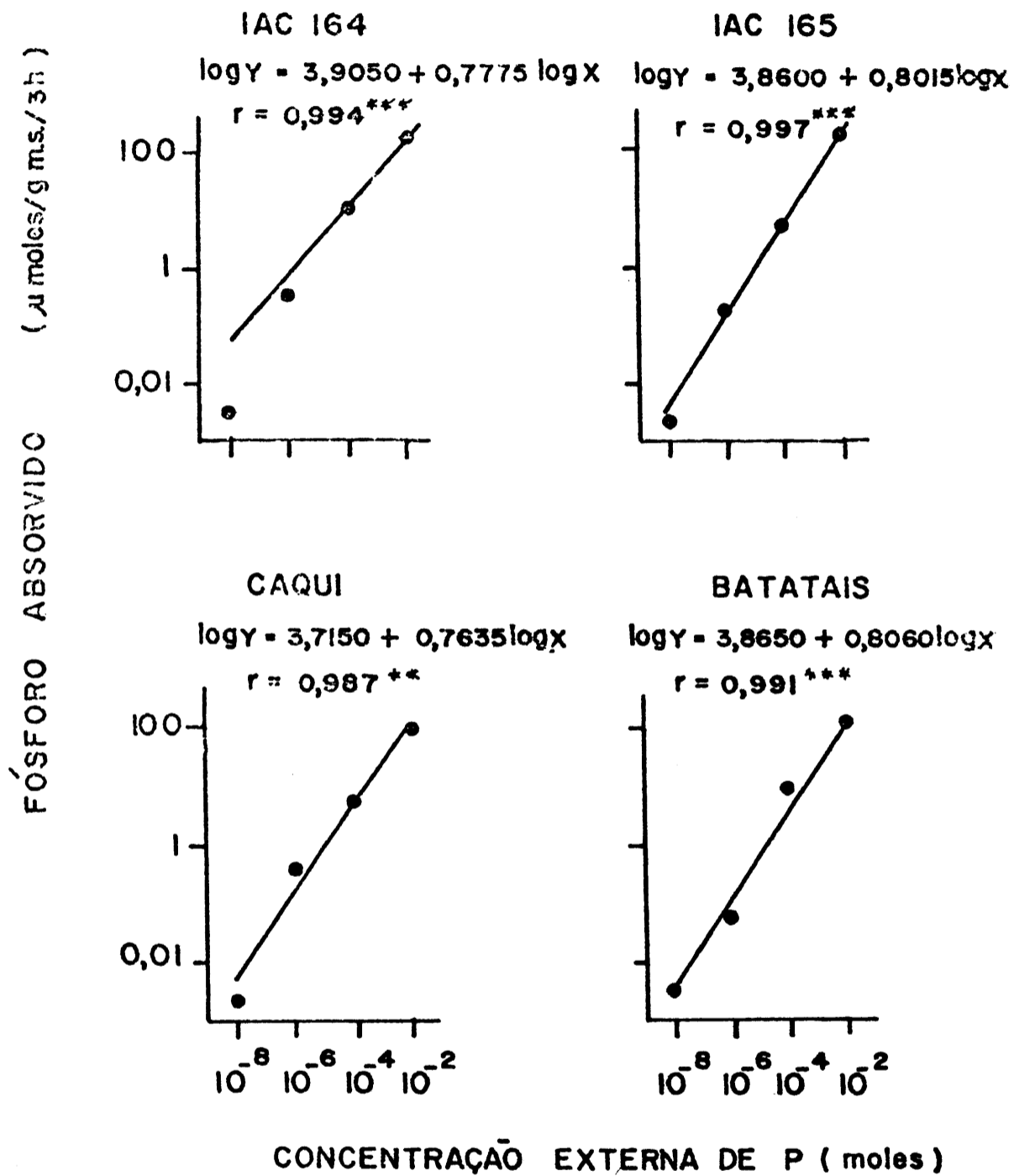


Figura 7 - Absorção de P por raízes destacadas de 4 variedades de arroz, em função da concentração iônica externa. Tempo de contato: 3 horas.

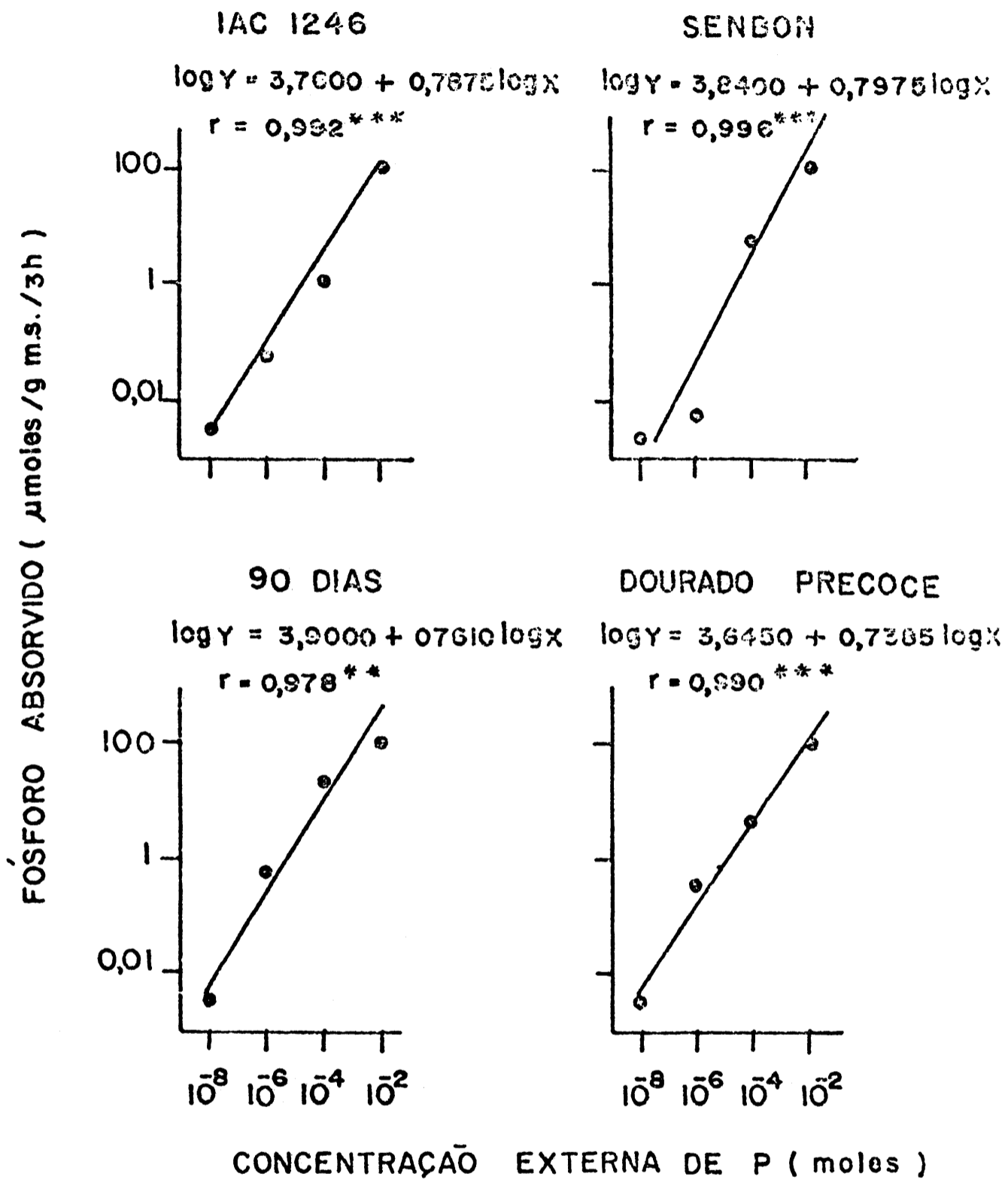


Figura 8 - Absorção de P por raízes destacadas de 4 variedades de arroz em função da concentração iônica externa. Tempo de contato: 3 horas.

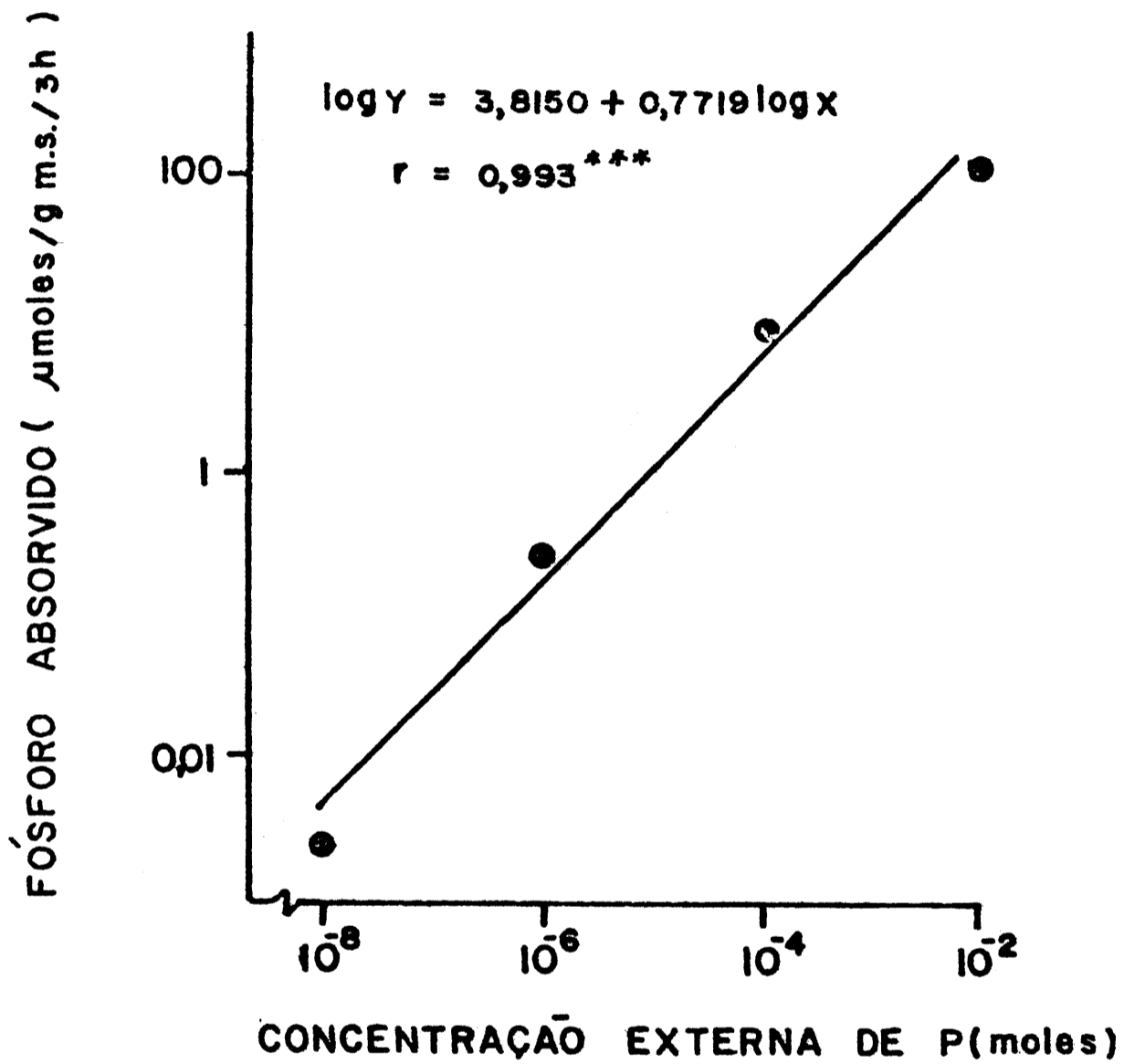


Figura 9 - Efeito da concentração iônica externa na absorção de fósforo por raízes destacadas de arroz; média de 8 variedades.

Comparando-se as figuras 10 e 11, verifica-se que os dados de absorção de P não obedecem à cinética de Michaelis simples. A equação de regressão linear, $\bar{Y} = 69,2958 - 0,2386 \cdot 10^{-3} X$, $r = -0,639$, calculada a partir da transformada de Hofstee, consegue explicar apenas 40% da absorção de P em função da concentração iônica externa do substrato. Além disso, o intervalo de confiança para a estimativa do intercepto da equação está compreendido entre 47,05 e 91,54 e o do coeficiente angular está entre -0,3455 e -0,1316, o que, evidentemente, acarreta consideráveis desvios entre os valores observados e os estimados. O $V_{max} = 69,29$ e o $K_m = 0,2386 \cdot 10^{-3}$ ($\mu\text{moles P/g m.s./3 h}$) são obtidos da equação acima, respectivamente, o intercepto e o coeficiente angular.

Com a decomposição da figura 10 em dois segmentos lineares, para altas e baixas concentrações do substrato, obtiveram-se respectivamente, as seguintes equações:

$$e \quad \begin{aligned} \bar{Y}_a &= 101,6842 - 0,7697 \cdot 10^{-3} X & r &= -0,6952^{***} \\ \bar{Y}_b &= 4,7940 + 4,4850 \cdot 10^{-8} X & r &= 0,3157 \text{ n.s.} \end{aligned}$$

onde

\bar{Y}_a = absorção de P estimada para altas concentrações do substrato.

\bar{Y}_b = absorção de P estimada para baixas concentrações do substrato.

A equação estimada a partir dos dados de absorção de P para altas concentrações apresenta a $V_{max} = 101,68$ $\mu\text{moles/P/g m.s./3 h}$ mais próxima dos valores máximos observados, enquanto que o $K_m = 0,7697 \cdot 10^{-3}$ $\mu\text{moles P/g m.s./3 h}$ é significativamente maior do que o K_m calculado a partir de todos os dados observados (Figuras 10 e 11). Todavia, os valores de absorção de P para baixas concentrações não permitiram o ajustamento de qualquer modelo matemático, o que pode ser deduzido dos parâmetros da equação de regressão linear calculada a partir dos dados de baixas concentrações de substrato ($r = 0,3157$ n.s.).

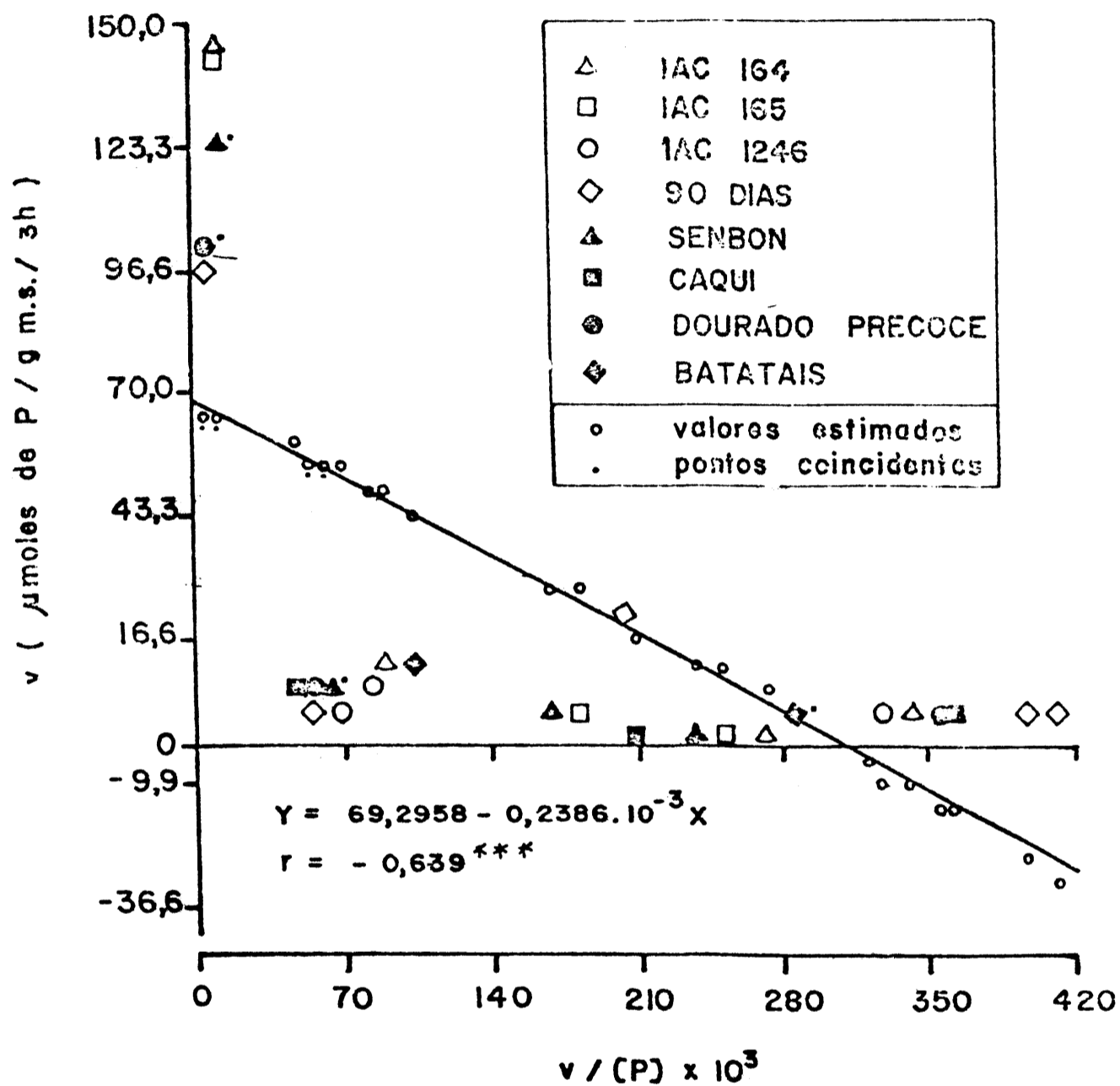


Figura 10 - Transformada de Hofstee. Absorção de P por raízes destacadas de arroz em função da concentração iônica externa. Média de 8 variedades. Tempo de contato: 3 horas.

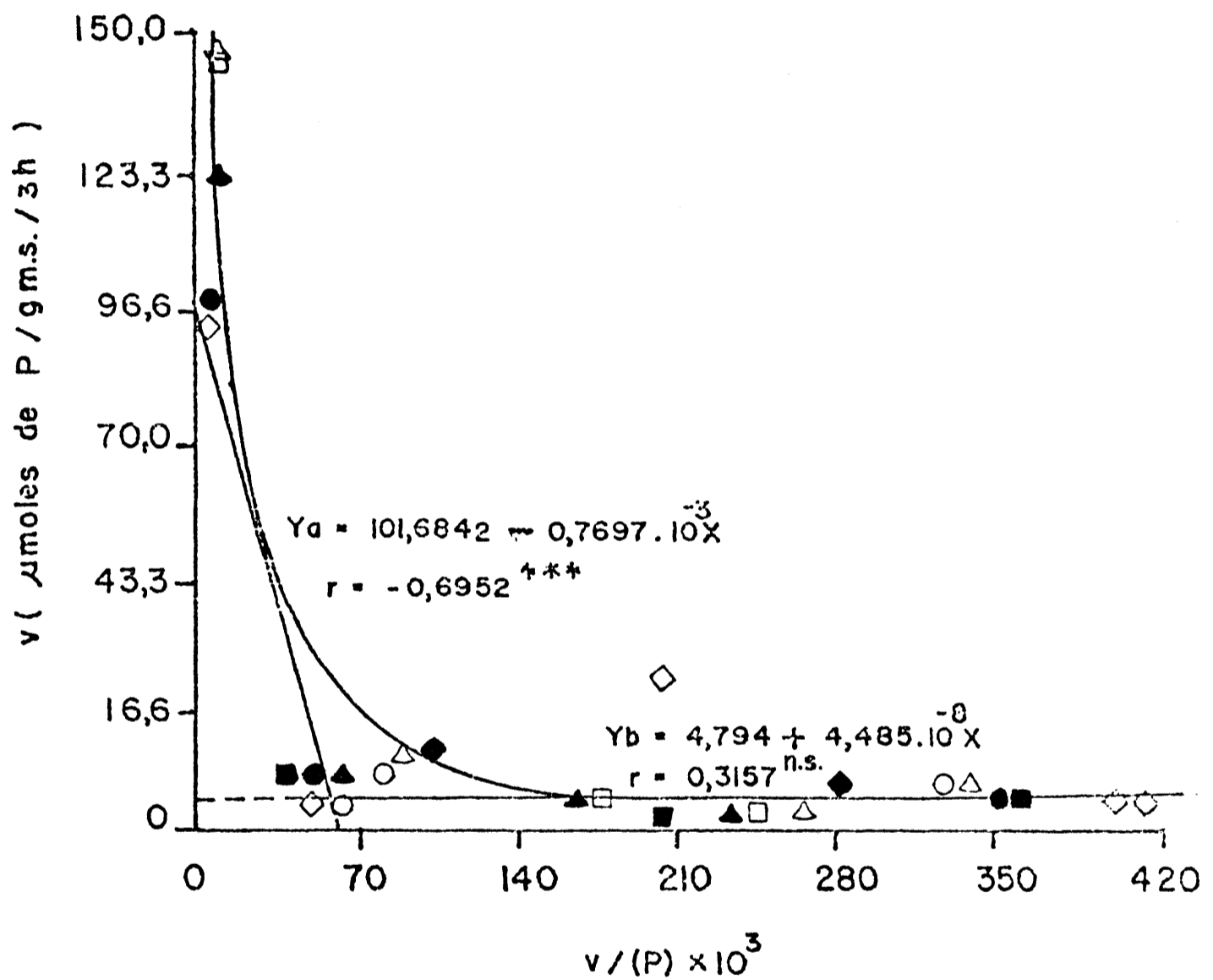


Figura 11 - Transformada de Hofstee, Mecanismo duplo de absorção de P por raízes destacadas de arroz em função da concentração iônica externa. Tem po de contato: 3 horas.

Comparando-se as Figuras 10 e 11, nota-se pouca consistência dos valores de absorção de P para baixas concentrações, o que, em grande parte, explica a falta de ajustamento a qualquer modelo de regressão. Quando os dados de observação apresentam erros experimentais de certa magnitude, HARRISON et alii (1981) consideram que os métodos gráficos de EISENTHAL & CORNISH-BOWDEN (1974), e as transformadas de HOFSTEE (1952) geram valores de V_{max} e K_m de pouca credibilidade.

Do ponto de vista operacional, presume-se que tenha havido lavagem desuniforme das raízes, o que pode ser visualizado pela dispersão dos pontos na Figura 10. Em algumas variedades de arroz, as raízes destacadas submetidas a baixas concentrações do substrato ($10^{-8}M$) apresentam teores de P superiores aos daquelas submetidas a concentrações mais elevadas ($10^{-6}M$).

Pela Figura 11 observa-se que os dados de absorção de P na transformada de Hofstee se apresentam de forma curvilínea, podendo ser decompostos em dois segmentos lineares. Independentemente da pouca consistência dos dados obtidos a partir das baixas concentrações do substrato, sugere-se a existência de um mecanismo duplo de absorção de P por raízes destacadas de arroz. MALAVOLTA et alii (1977) observaram que a V_{max} difere entre cultivares de sorgo granífero, tanto para altas como baixas concentrações de P. Da mesma forma os valores de v e V dos pontos de intersecção das retas na transformada de Hofstee apresentam diferenças significativas.

Absorção radicular e foliar de ^{32}P e sua redistribuição na planta

As tabelas 3 e 4 apresentam as diferenças entre o total do ^{32}P absorvido às variedades e aos métodos de aplicação.

A absorção de ^{32}P , quando fornecido via radicular foi maior na variedade IAC-164 e menor na variedade Senbon, ficando em posição intermediária a variedade 90

Tabela 3 - Absorção de ^{32}P , aplicado via radicular e foliar em plantas inteiras de três variedades de arroz.

Variedades	Total absorvido (cpm)	
	Radicular	Foliar
IAC-164	186923,31 a	207572,31 a
90 Dias	130083,32 ab	223669,96 a
Senbon	108729,98 b	46583,30 b

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Radicular : F = 6,97 **

Foliar: F = 40,97**

dms = 57677,00

CV = 17,6%

Tabela 4 - Absorção de ^{32}P por plantas inteiras de 3 variedades de arroz; através de aplicação radicular e foliar.

Via de fornecimento	IAC-164	
	90 Dias	Senbon
	----- Atividade de P (cpm)	
Radicular	186.923,31 a	108.729,98 a
Foliar	207.573,32 a	46.583,30 b
F	0,91 n.s.	18,71**
		8,25**

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

C.V. = 17,60%

dms = 47,120,51

Dias. Estes dados, quando analisados estatisticamente (teste de Tukey a 5%), mostram diferenças significativas entre as variedades que absorveram maiores e menores quantidades de P, sendo que a intermediária (90 Dias) não difere estatisticamente das demais (Tabela 3).

Quando o fósforo foi aplicado por via foliar, as variedades IAC-164 e 90 Dias absorveram quantidades praticamente iguais; a variedade Senbon, no entanto, absorveu somente 20% de P, comparativamente com as duas primeiras, como pode ser averiguado pela tabela 3. Dados experimentais de campo e de ambiente controlado demonstram a inequívoca variação entre variedades da mesma espécie, no tocante a diversos fatores que interferem no rendimento. Assim, SINHA et alii (1980) verificaram que a absorção de P é proporcional, embora variável, à produção de arroz, revelando diferentes capacidades de absorção e extração de P do solo. MALAVOLTA et alii (1977) observaram que certas variedades de sorgo granífero apresentam maior eficiência de absorção de P em baixas concentrações de substrato, ocorrendo o contrário em altas concentrações.

O modo de fornecimento de P para as plantas de arroz não influenciou significativamente a quantidade absorvida pela variedade IAC-164, a despeito da maior absorção via foliar, como se verifica na tabela 4. Nas variedades 90 Dias e Senbon, ao contrário, a via de fornecimento teve significativa influência na quantidade de P absorvida.

As porcentagens de ^{32}P absorvido em relação ao fornecimento via foliar nas 3 variedades de arroz (IAC-164, 90 Dias e Senbon) foram quantitativamente iguais quando se descontou a atividade do órgão de absorção. Com a atividade do órgão de absorção as cultivares IAC-164 e 90 Dias acusaram uma porcentagem maior de absorção de ^{32}P do que a variedade Senbon, sendo a diferença significativa (Tabela 5). Todavia, quando o ^{32}P foi fornecido via radicular, as porcentagens absorvidas pelas três variedades de arroz foram semelhantes com ou sem a atividade do órgão de absorção (Tabela 5).

Tabela 5 - Porcentagem de ^{32}P absorvido em relação ao fornecido via foliar e radicular, em 3 variedades de arroz.

Variedade	% P absorvido/P forn. via radicular		% P absorv./P forn. via foliar	
	Com a atividade do órgão de absorção	sem a atividade do órgão de absorção	Com a atividade do órgão de absorção	Sem atividade do órgão de absorção
IAC-164	17,76 a	14,03 a	19,72 a	3,55 a
90 Dias	12,36 b	7,66 b	21,25 a	4,37 a
Senbon	10,33 b	4,76 b	4,43 b	0,98 a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

F	24,25**	40,21**
dms	4,35	4,53
CV	21,14	21,14

O estudo da percentagem de P absorvido em relação ao fornecido via foliar e via radicular dentro de cada variedade (Tabela 6) demonstraram que a variedade IAC-164, incluindo a atividade do órgão de absorção, não demonstrou diferenças entre absorção foliar e radicular. Todavia, descontando-se a atividade do órgão de absorção, o fornecimento radicular foi mais eficiente. Com a variedade 90 Dias ocorreu o inverso, isto é, quando não se descontou a atividade do órgão de absorção, a contribuição da via foliar foi significativamente maior. Por outro lado, na variedade Senbon, independentemente da atividade do órgão de absorção, a percentagem de ^{32}P absorvido foi superior quando proveniente da via radicular.

De um modo geral, verifica-se que a absorção radicular, nas condições do experimento, foi mais eficiente, o que pode ser respaldado pelos resultados obtidos por MALAVOLTA et alii (1979).

A distribuição relativa do ^{32}P nas diversas partes das plantas de arroz está ilustrada na figura 12. Verifica-se que no fornecimento via radicular houve redistribuição bastante alta do ^{32}P notadamente na variedade IAC-164, na qual 79% do P absorvido se translocou para outros órgãos. Na variedade Senbon ocorreu o menor índice de redistribuição, em que praticamente 50% do total do P absorvido permaneceu nas raízes. Houve, entretanto, translocação bastante significativa de P para as folhas acima e abaixo as tratadas.

No caso do fornecimento do ^{32}P via foliar a redistribuição foi inexpressiva nas três variedades, permanecendo cerca de 80% do total nas folhas tratadas. As maiores percentagens de ^{32}P aplicados via foliar foram detectadas nas folhas acima das tratadas, o que segundo OLIVER (1952) e MALAVOLTA et alii (1979) é explicado pela maior atividade metabólica das folhas mais novas. No entanto, a translocação do radiofósforo das folhas tratadas para as raízes foi praticamente nula. Em linhas gerais, a aplicação foliar foi pouco eficiente na redistribuição do ^{32}P , se comparada com o fornecimento por via radicular.

Tabela 6 - Efeito das vias de absorção sobre o ^{32}P absorvido em relação ao fornecido, em 3 variedades de arroz.

Via de fornecimento	IAC-164		90 Dias		Senbon	
	1	2	1	2	1	2
Radicular	17,76a	14,03a	12,36b	7,66a	10,33a	4,76a
Foliar	19,72a	3,55b	21,25a	4,37a	4,43b	0,98b

(1) - com a atividade do órgão de absorção

(2) - sem a atividade do órgão de absorção.

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

F = 8,69**

dms = 3,60

CV = 21,14%

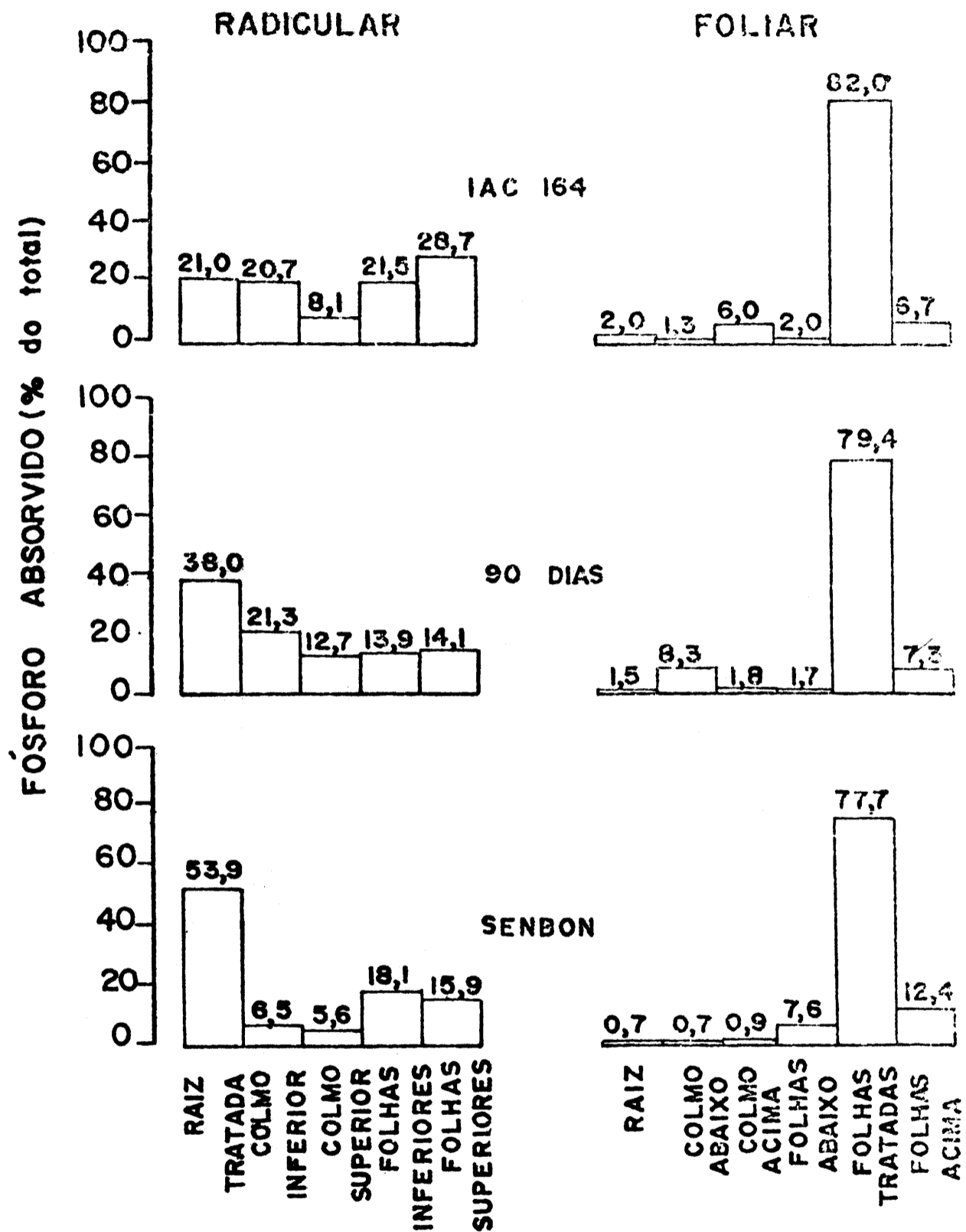


Figura 12 - Distribuição relativa do P absorvido (via foliar e radicular) em diferentes partes da planta, em 3 variedades de arroz, uma semana após a aplicação.

A atividade de ^{32}P nas diferentes partes das plantas é mostrado na tabela 7 para as variedades IAC-164, 90 Dias e Senbon. Desta tabela depreende-se que no caso do fornecimento radicular, houve contrastes de médias significativos em todas as variedades dentro de cada parte da planta considerada. Com respeito à aplicação foliar, as referidas variedades não apresentaram teores de P translocado estatisticamente diferentes dentro de cada órgão considerado, exceção feita para as folhas superiores da variedade Senbon, que acusaram teor significativamente menor do que nas outras duas variedades.

Na Tabela 8 encontram-se os valores de atividade de ^{32}P dentro de cada parte da planta, em função da via de fornecimento (radicular e foliar). Observa-se que a via radicular proporcionou valores de absorção sistematicamente superiores aos da via foliar, independentemente, das partes das plantas e variedades consideradas.

CONCLUSÕES

Diferenças significativas foram observadas na velocidade de absorção de ^{32}P por raízes destacadas de arroz. Enquanto que as variedades IAC-164, Caqui, 90 Dias e Dourado Precoce atingiram a absorção máxima com 180 minutos de contato com a solução de P 10^{-4}M , as variedades IAC-1246, Batatais e Senbon não atingiram o máximo de absorção com até 240 minutos de contato.

Relação linear positiva, altamente significativa foi obtida entre os tempos de contato com o substrato e os teores de ^{32}P absorvidos pelas raízes destacadas das diversas variedades de arroz estudadas em conjunto. Na análise individual de cada variedade, os modelos potencial e exponencial proporcionaram os melhores ajustamentos para explicar o efeito do tempo nas absorções de P.

Dentre as concentrações iônicas externas testadas, somente na de 10^{-2}M observou-se teores de P absorvido

Tabela 7 - Atividade de absorção de ³²P (cpm x 10³/g m.s.) em 3 variedades de arroz nos seus diferentes órgãos.

Partes da planta	IAC-164	90 Dias	Senbon	dms
		Radicular		
Raízes	77,65b*	113,47a	129,53a	21,35
Colmo inferior	80,40ab	49,15b	101,86a	40,69
Colmo superior	43,20b	51,76ab	74,09a	30,16
Folhas inferiores	55,58a	38,26b	33,95b	8,56
Folhas superiores	50,44a	22,00b	11,32a	7,89
		Foliar		
Raízes	8,44a	6,23a	0,43a	21,35
Colmo inferior	34,65a	39,14a	4,12a	40,69
Colmo superior	29,83a	17,75a	5,23a	30,16
Folhas inferiores	3,27a	3,99a	4,67a	8,86
Folhas superiores	17,60a	21,09a	5,27b	7,60

* Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8 - Atividade de absorção de ^{32}P (com $\times 10^3/\text{g m.s.}$) em 3 variedades de arroz nos seus diferentes órgãos em função da via de fornecimento.

Parte da planta	Via de absorção	Variedades		
		IAC-164	90 Dias	Senbon
Raízes	Radicular	77,65	113,47	129,53
	Foliar	8,44	6,23	0,43
Colmo inferior	Radicular	80,40	49,15	101,86
	Foliar	34,65	39,14	4,12
Colmo superior	Radicular	42,30	51,76	74,09
	Foliar	29,83	17,75	5,23
Folhas inferiores	Radicular	55,58	38,26	33,95
	Foliar	3,27	3,99	4,67
Folhas superiores	Radicular	56,44	22,00	11,32
	Foliar	17,60	21,09	5,07

estatisticamente diferentes daqueles obtidos nas demais concentrações (10^{-4} , 10^{-6} e 10^{-8} M). Na concentração de 10^{-2} M as variedades IAC-164 e IAC-165 apresentaram os maiores valores de absorção de P, diferindo estatisticamente das demais variedades com exceção da Batatais e Senbon.

O fornecimento radicular foi mais eficiente na redistribuição do ^{32}P comparado à aplicação foliar. A maior percentagem de translocação de fósforo das raízes para outros órgãos foi observada na variedade IAC-164.

Os dados de absorção de P, empregando-se a transformada de Hofstee permitiram evidenciar a existência de um mecanismo duplo de absorção nas variedades de arroz estudadas, quando analisadas conjuntamente.

SUMMARY

STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT. XVI. ROOT AND FOLIAR UPTAKE OF RAIOPHOSPHATE BY SEVERAL CULTIVARS

Excised roots obtained from 8 varieties of rice (IAC-164, 165 and 1246, Batatais, Caqui, Dourado Precoce, 90 Dias and Senbon) were used to study the kinetics of P uptake. Three cultivars (IAC-164, 90 Dias and Senbon) were employed in an experiment designed to compare root and leaf uptake and to evaluate the long distance transport.

The main conclusions were as follows:

- a) after 180 minutes of contact with the external solution the uptake reached a maximum in the case of varieties IAC-164 and 165, 90 Dias and Dourado Precoce; the same took place with the remaining cultivars after 240 minutes;
- b) the best fitting for individual varieties was

obtained by using either potential or exponential models of adjustment wherein time was the independent variable and rate of uptake was the dependent one.

- c) IAC-164 and IAC-165 showed the highest efficiency of absorption while Dourado Precoce and 90 dias showed the lowest one.
- d) some evidence for the operation of a dual uptake mechanism was obtained when data from all varieties were put together;
- e) root absorption was usually higher than foliar uptake.

CO-AUTORES

Estudantes de pós-graduação: E.A. Pauletto, J.H. Campelo Jr., J.R. de Freitas, L.F. Cavalcanti, M.L. Lima, M.F. Fiore, O. Primavesi, S.M. Fonseca, A. Parada, G. Martins, J.C. Gonçalves, J.F. Centurion, L.A.B.C. de Vasconcellos, M. de Almeida, M.E. Marchetti, O.A.P. Pereira, P.F.S. Martins, S. Buzetti, Técnica de laboratório: C.P. Cabral.

LITERATURA CITADA

- EISENTHAL, R.; CORNISH-BOWDEN, A., 1974. The direct linear plot; a new graphical procedure for estimating enzyme kinetic parameters. *Biochem J.* **139**: 715-720.
- HARRISON, S.J.; LEEP, N.W.; PHIPPS, D.A., 1981. Calculation of kinetic constants for ion uptake studies: a comparison of methods in relation to their effects on data interpretation. *Journal Plant Nutrition* **3**(1-4): 181-192.

- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I., 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agric. Expt. Sta. Circ., 347.
- HOFSTEE, B.H.J., 1952. On the evaluation of the constants V_m and K_m in enzyme reactions. Science 116: 329-331.
- MALAVOLTA, E. et alii, 1977. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo granífero. VI. Absorção de fosfato por raízes destacadas de plantas de três variedades comerciais. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" 34: 383-406.
- MALAVOLTA, E. et alii, 1979. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L) Moench. cv. Brands. II. absorção e redistribuição do radiofósforo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" 36:203-229.
- NOGGLE, J.C.; FRIED M., 1960. A kinetic analysis of phosphate absorption by excised roots of millet, barley and alfafa. Soil Sci. Amer. Proc. 24(1): 33-35.
- OLIVER, W.G., 1952. Absorption and translocation of phosphorus of by foliage. Sci. Agri. 32: 427-432.
- RASTOGI, A.K.; MAHAJAN, J.P.; SINHA, S.B., 1981. Phosphorus utilization by three rice varieties at different stages of growth in a vertisol. J. Nuclear Agric. Biol. 10: 48-50.
- SINHA, S.B.; RASTOGI, A.K.; MAHAJAN, J.P., 1980. Uptake of fertilizer phosphorus by three rice varieties in a vertisol. J. Nuclear Agric. Biol. 9: 139-140.

