

Dinâmica e disponibilidade de fósforo no solo para o cafeeiro

THIAGO HENRIQUE PEREIRA REIS¹, ANTÔNIO EDUARDO FURTINI NETO²; PAULO TÁCITO GONTIJO GUIMARÃES³, ANTÔNIO FERNANDO GUERRA⁴ & GUY CARVALHO RIBEIRO FILHO⁵

RESUMO - Resultados recentes de pesquisa mostraram que o cafeeiro demanda uma quantidade anual de fósforo, semelhantemente às culturas de ciclo curto. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o “status” do P no solo, em função da aplicação anual de doses de P, por meio da quantificação de frações de P lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e total, associando-as às respostas das plantas de café. Foi analisado um experimento em área com cafeeiros irrigados em produção instalado num Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) em Planaltina, DF, submetido à adubação fosfatada anual, a partir de 2002, de 0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com três repetições em blocos casualizados. Foram determinadas frações de fósforo lábil, moderadamente lábil, pouco lábil e total em amostras de solo coletadas a 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40cm de profundidade. Observou-se que o cafeeiro irrigado respondeu à adubação fosfatada, na fase de produção, obtendo ganhos de produtividade da ordem de 138% com a aplicação da dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na safra avaliada. Os teores foliares do cafeeiro aumentaram com a aplicação de doses de P e se estabilizaram em torno de 1,9 a 2,0 g kg⁻¹. A adição de fósforo ao solo afetou de maneira variável a distribuição das frações de P. O compartimento de P-biodisponível apresentou-se como maior reservatório de P do solo, embora o P-residual estimado tenha apresentado participação expressiva.

Palavras-Chave: cafeeiro, produtividade, doses de fósforo, fracionamento de fósforo

Introdução

A fertilidade do solo está estreitamente relacionada com a produtividade das plantas, se mantidos os demais fatores de produção em níveis não limitantes. Para o fósforo (P), este comportamento não é exceção. Este nutriente é, talvez, o mais investigado na literatura, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produção das culturas, sobretudo nas regiões tropicais e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível [1].

Por muitos anos, o cafeeiro foi considerado como uma planta que não respondia à aplicação de altas doses de P no solo [2]. A pesquisa, provavelmente, chegou a esta conclusão, pois o P é um dos

macronutrientes menos exportados pelo cafeeiro [3] e, sendo assim, a planta não precisaria de grande quantidade do nutriente para completar seu ciclo. Além disso, anteriormente o cafeeiro só era cultivado em solos de média a alta fertilidade e a maioria das fazendas experimentais nas diferentes regiões do mundo estava em localidades nestas condições, logo, esta planta era considerada como não responsiva ao nutriente. Entretanto, alguns trabalhos têm mostrado que o cafeeiro consegue responder a incrementos de P, principalmente nos solos de baixa fertilidade como os de Cerrado, na fase de implantação da cultura e em anos de alta produtividade [4, 5].

Buscando compreender como a disponibilidade de fósforo é influenciada pela adição de doses anuais de P o objetivo deste trabalho foi quantificar as frações lábeis, moderadamente lábeis, pouco lábeis e totais, associando-as às produtividades do cafeeiro e aos teores foliares de P.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em janeiro de 2001, num Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura muito argilosa, localizado no município de Planaltina, DF, no Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado – Embrapa/CPAC. Foi utilizada a cultivar Rubi MG-1192, no espaçamento de 2,8 x 0,5m. A partir da primeira florada, em 2002, iniciou-se a aplicação anual de diferentes doses de fósforo (0; 50; 100; 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na projeção da copa dos cafeeiros, utilizando como fonte o superfosfato triplo, aplicando-se 2/3 da dose em setembro, antes do retorno das irrigações após período de estresse hídrico, e 1/3 entre o final de dezembro e início de janeiro. Foi mantida a mesma adubação de produção para os demais nutrientes aplicando-se anualmente 500 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 500 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de FTE BR10 (Zn=7%; B=2,5; Cu=1%; Fe=4%; Mn=4%; Mo=0,1%; Co=0,1%) para suprimento de micronutrientes. O N e o K foram parcelados em 4 aplicações de setembro a fevereiro. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, onde as parcelas foram constituídas de três linhas de plantio com 10 plantas, sendo as 8 centrais úteis. A área foi irrigada por pivô central, num regime de estresse hídrico moderado.

Em 2005, as plantas do experimento foram podadas, sofrendo esqueletamento e decote. Nas parcelas experimentais, no ano de 2007, foram coletadas amostras

¹ Primeiro Autor é Doutorando do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras; Caixa Postal: 3037. CEP: 37200-000. Lavras/MG. thiagohpreis@yahoo.com.br

² Segundo Autor é Prof. Dr de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras; Bolsista Produtividade/CNPq. Caixa Postal: 3037. CEP: 37200-000. Lavras/MG. afurtini@ufla.br.

³ Terceiro Autor é Dr. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais-EPAMIG, Caixa Postal: 176. CEP: 37200-000. Lavras/MG. paulotgg@ufla.br

⁴ Quarto Autor é Dr. Pesquisador da Embrapa Cerrados/CPAC, Caixa Postal 08223. CEP: 73310-970. Planaltina-DF, guerra@cpac.embrapa.br

⁵ Quinto autor é Engenheiro Agrônomo. Consultor. Rua São Lucas, 60. CEP: 37880-000. Cabo Verde – MG. guycarvalho@outcenter.com.br

de solo em três profundidades 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40cm, antes das adubações para o ano agrícola 2007/2008. No ano de 2008, na ocasião da colheita, retiraram-se novamente amostras nessas parcelas. Também foi realizada a coleta de material vegetal em dezembro de 2007, antes da fase de enchimento de grãos, quando foram coletadas folhas do terço médio das plantas, no terceiro par de folhas do ramo plagiotrópico.

Foi realizado o fracionamento de P segundo Hedley [6], adaptado para TFSA e o P total segundo Bowman [7]. No fracionamento proposto por [6], o P lábil (Pi + Po) foi extraído com NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} ; o P pouco lábil (Pi + Po), considerado neste trabalho como moderadamente lábil, foi extraído com NaOH 0,1 mol L^{-1} e o P pouco lábil (Pi + Po) extraído com NaOH 0,5 mol L^{-1} . O P total do solo foi determinado por digestão a 120°C, em meio ácido concentrado e em meio alcalino [7]. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Foram ajustadas equações de regressão para as diferentes frações de P como variáveis dependentes das doses de P_2O_5 utilizando-se o programa estatístico Sisvar [8].

Resultados e Discussões

A produção da safra 2008 comportou-se de maneira linear (Figura 1A), tendo sido possível observar um incremento de 75,2 sacas de café beneficiado ha^{-1} ou 138%, quando da aplicação de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 em relação à testemunha sem fósforo. Ressalta-se que este experimento é irrigado e sofreu uma poda dois anos antes da safra de 2008 considerada nesta avaliação.

Estes resultados mostram-se expressivos em relação a alguns resultados encontrados na literatura que apresentam incrementos da ordem de 12% a 16% de produtividade, quando foram avaliadas doses de 0 a 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 [5]. Por outro lado, [9] relataram incrementos da ordem de 73,4% de produtividade, com relação à testemunha, quando aplicaram doses anuais de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 , por três safras consecutivas.

Observando-se as médias de produtividade deste experimento, após seis anos de produção, obteve-se uma variação de 37,6 a 69,9 sacas de café beneficiado $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente entre a testemunha e a dose de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 , representando um ganho médio de 86% de produtividade, ao longo dos anos analisados (Tabela 1). Pode-se observar, ainda pela mesma tabela, que, de maneira geral, o cafeeiro, quando submetido a doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , não apresentou grande diferença na sua produtividade, exceto no ano de 2008, quando, notoriamente, a safra do experimento foi muito elevada. Desta maneira, pode-se inferir que essas doses estão suprimindo a exigência de P pelos sítios de adsorção do nutriente no solo e não conseguem atender adequadamente as exigências nutricionais dos cafeeiros. Contudo, os maiores ganhos de produtividade do cafeeiro foram constatados de maneira geral a partir da dose anual de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Os teores foliares comportaram-se de maneira exponencial, estabilizando-se a partir da dose de 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 em 1,98 g kg^{-1} , embora não ocorram diferenças entre as doses de 200 e 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 1B). Esses resultados mostram que as plantas conseguem acumular mais fósforo, em função da maior disponibilidade do nutriente no solo, mas certamente apresentam um acúmulo suficiente do mesmo, pois os teores foliares tenderam a se estabilizar a partir da dose de 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 . [10] citam uma faixa adequada de P de 1,2 a 2,0 g kg^{-1} sem considerar regiões específicas produtoras de café. Destaca-se que a maior produtividade média do cafeeiro, de 129,7 sacas de café beneficiado ha^{-1} em 2008, foi obtida quando o teor foliar de P dessas plantas atingiu o valor médio de 1,98 g kg^{-1} .

Com relação ao fracionamento de fósforo foram discutidos neste trabalho apenas os resultados referentes a camada de 0 a 10cm de profundidade do solo uma vez que a mesma apresentou os resultados mais expressivos.

Todas as formas de P obtidas neste trabalho apresentaram aumentos nos teores de P em função do acréscimo das doses de P_2O_5 aplicadas nos dois anos (Figura 2). Embora os teores de P prontamente disponível estejam aumentando com a aplicação anual de P_2O_5 (Figuras 2A e 2B), quando analisados em relação ao P total do solo (Figuras 2I e 2J), observa-se que os mesmos permaneceram constantes e baixos, mesmo após as adubações fosfatadas ao longo dos dois anos de estudo, demonstrando pouca participação deste compartimento em relação ao P-total no solo.

Em relação à fração P-moderadamente lábil (Figuras 2C e 2D), observa-se que a mesma correspondeu ao principal reservatório de P do solo, em função do aumento das doses de P_2O_5 aplicadas, quando comparada aos demais compartimentos obtidos por Hedley [6] (Figura 2). Estes resultados mostram-se coerentes com a literatura, uma vez que em solos oxidícos e intemperizados, como os Latossolos “sob cerrado”, esse compartimento é considerado o maior dreno do P adicionado ao solo [11] e está estreitamente relacionado aos oxi-hidróxidos de Fe e Al e aos compostos húmicos estáveis [6]. Contudo, a fração P-moderadamente lábil, provavelmente, ainda se encontra em equilíbrio com o P-solução, sendo, portanto, capaz de fornecer o nutriente às plantas nos próximos ciclos produtivos [12].

Os teores de P pouco lábil tiveram um comportamento linear em 2007 em função das doses de P_2O_5 aplicadas (Figura 2E), entretanto, em 2008, o ajuste quadrático indica incrementos até o ponto de máxima de 193,1 kg ha^{-1} P_2O_5 a partir do qual os valores passam a diminuir (Figura 2F). Ressalta-se que os teores de P neste compartimento apresentam valores de magnitude intermediária, quando comparados às frações P-lábil e P-moderadamente lábil, o que é importante, uma vez que a fração P-pouco lábil é considerada de menor disponibilidade para as plantas [13].

Quando se observa o comportamento do P nesta fração, no ano 2008, à medida que a quantidade de fosfato adicionada era maior, a quantidade de P diminuía. Isso mostra que, certamente, os sítios de adsorção da fração P-pouco lábil foram saturados até a doses correspondente ao

ponto de máxima ou, ainda, que as plantas de café apenas conseguiram aproveitá-lo a partir dos teores correspondentes a estas doses, em virtude da produção proporcionada. Esses resultados são extremamente importantes, pois, via de regra, quando se aplica P no solo, a adsorção ocorre primeiramente nos sítios de maior estabilidade química e, posteriormente, o nutriente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas [13, 11].

Considerou-se como P-biodisponível as formas obtidas pelo P-Σ (Hedley) (Figuras 2G e 2H), as quais ainda estão em equilíbrio com a solução do solo [12]. A avaliação do P-biodisponível é importante por mostrar o comportamento geral do nutriente no solo, uma vez que essas formas de P atuam na biodisponibilidade deste nutriente para as plantas. Desse modo, ao observar a participação relativa das formas de P em relação ao P total Bowman, evidencia-se que as formas de P-moderadamente lábil, de disponibilidade em médio prazo, são aquelas predominantes no solo (Figura 2).

Através do P total no solo pode-se estimar os teores de P residual. Sabe-se que o P desses compartimentos “não disponíveis” está relacionado aos oxi-hidróxidos de Fe e Al e à matéria orgânica altamente estável [14], sendo muito difícil conseguir que estes compostos disponibilizem novamente o nutriente para as plantas [12].

Conclusões

O café irrigado mostrou-se responsivo à adubação fosfatada em fase de produção da cultura, obtendo-se ganhos de até 138% de produtividade, em relação a testemunha, com a aplicação da maior dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na safra avaliada. Os teores foliares do café aumentaram com as doses de P e se estabilizaram em torno de 1,9 a 2,0 g kg⁻¹. A adição de fósforo ao solo afetou de maneira variável a distribuição das frações de P promovendo incrementos na maioria das frações de P-biodisponíveis estudadas. O compartimento de P-biodisponível apresentou-se como maior reservatório de P do solo apesar de o P-residual estimado apresentar valores expressivos.

Referências Bibliográficas

- [1] MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- [2] BATAGLIA, O.C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 307.
- [3] MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o café. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do**

café: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136.

- [4] GUIMARÃES, P.T.G. **Respostas do café (Coffea arabica L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais**. 1986. 140p. (Tese de Doutorado) – ESALQ, Piracicaba.
- [5] PREZOTTI, L.C.; ROCHA, A.C. Nutrição do café arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, 63: 2, p.239, 2004.
- [6] HEDLEY, M.J.; STEWARD, W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Sci. Soc. Am. Journ.**, Madison, 46: 5, p. 970, 1982.
- [7] BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure whit concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Sci. Soc. Am. Journ.**, Madison, 53: 2, p. 362, 1989.
- [8] FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. **Programas e Resumos...**São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.
- [9] GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; RIBEIRO FILHO, G.C.; TOLEDO, P.M.R.; RIBEIRO, L.F. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **ITEM**, Brasília, 73, p.52, 2007.
- [10] MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; NEVES, Y.P.; OLIVEIRA, J.A.; ALVARENGA, A.P.; GUIMARÃES, P.T.G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do café**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. (Boletim Técnico, 72).
- [11] CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 27: 5, p. 893, 2003.
- [12] NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG. 1999. 399p.
- [13] RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 24:2, p.345, 2000.
- [14] RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, 38: 2, p. 576, 2008.

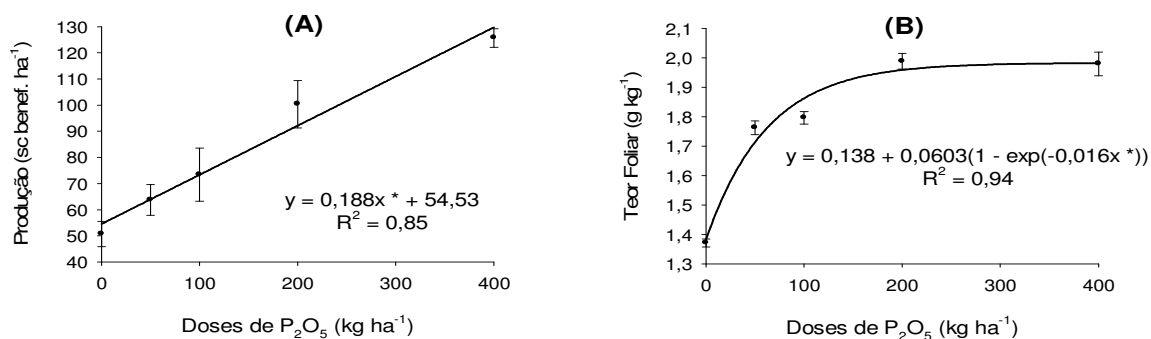


Figura 1 - Produção (A) e teores foliares (B) de cafeeiros irrigados submetidos a diferentes doses anuais de fósforo em um LVd de Planaltina, DF (safra de 2008). * Significativo, pelo teste de t, a 5%.

Tabela 1 - Médias de produtividade de cafeeiros irrigados, após seis anos de produção, em função de doses de P₂O₅, num Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em Planaltina, DF.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Produção* (sacas de café beneficiado ha ⁻¹)			
	2003/04/05**	2007**	2008	Média Geral
0	41,6 (100%) ^I	49,9 (100%)	50,7 (100%)	37,6 (100%)
50	45,4 (109%)	51,0 (102%)	63,7 (126%)	41,8 (111%)
100	49,2 (118%)	52,3 (105%)	73,3 (145%)	45,5 (121%)
200	56,9 (137%)	64,0 (128%)	100,3 (198%)	55,8 (148%)
400	72,1 (173%)	77,4 (155%)	125,7 (248%)	69,9 (186%)

* Como realizou-se a poda no ano de 2005, não obteve-se produção em 2006. Entretanto, este ano também é contabilizado na média geral; ** Dados médios fornecidos pela Embrapa Cerrados.

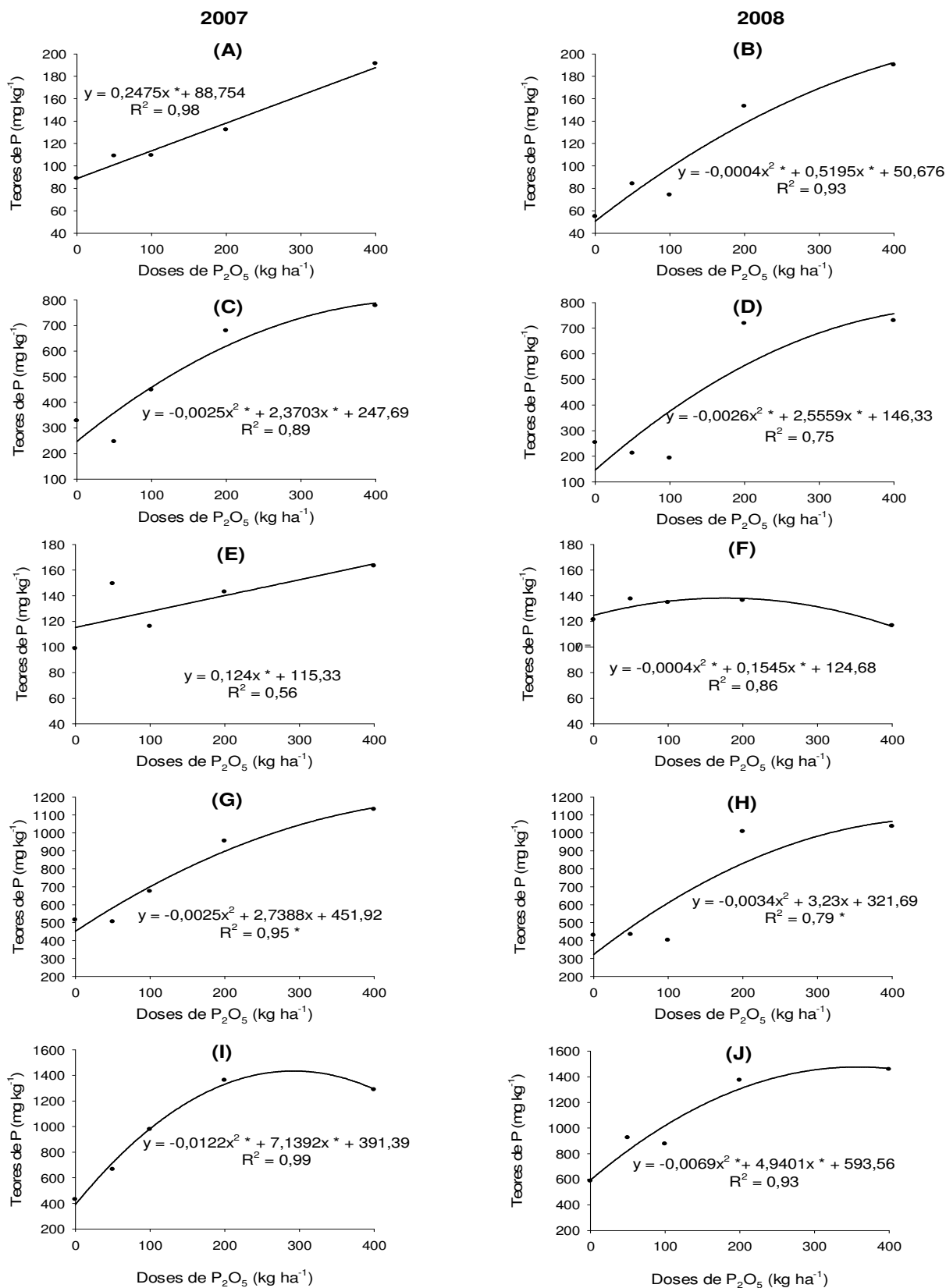


Figura 2 - Teores de fósforo disponível pelo fracionamento de Hedley et al. (1982) e P-total por Bowman (1989) num LVd de Planaltina, DF, em função da aplicação anual de doses de fósforo, em amostras coletadas em dois anos (A e B = P lábil; C e D = P moderadamente lábil; E e F = P pouco lábil; G e H = P biodisponível [Σ (P lábil + P moderadamente lábil + P pouco lábil)]; I e J = P total Bowman, respectivamente, nos anos de 2007 e 2008). * Significativo, pelo teste de t, a 5%.