

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO NO CACAUEIRO
(*Theobroma cacao* L.)

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO-UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2007

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO NO CACAUEIRO
(*Theobroma cacao* L.)

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Antônio Carlos da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA/UENF 008/2008

Silva, Joseane Oliveira da

Eficiência de utilização de fósforo no cacauero (*Theobroma cacao* L.) / Joseane Oliveira da Silva. – 2007.
103 f.

Orientador: Antônio Carlos da Gama-Rodrigues

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

Inclui bibliografia

1. Eficiência de uso 2. Cacauero 3. Fósforo 4. Eficiência de translocação 5. Eficiência de absorção I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD– 633.74895

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO NO CACAUEIRO
(*Theobroma cacao* L.)

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 23 de novembro de 2007

Comissão Examinadora:

Prof^a. Mara de Menezes de Assis Gomes (D.Sc., Biologia Vegetal) - (ISTCA)

Prof. José Tarcísio Lima Thiebáut (D.Sc., Produção Animal) – UENF

Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Orientador

Aos meus pais, José Carlos e Clarice, irmãos Tácio e Taciano e sobrinha Clarice
pelo carinho, apoio e exemplo de vida.

Dedico

Ao meu marido Felizardo, por tudo que representa pra mim.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida;

Aos meus pais, José Carlos e Clarice, meus irmãos Tácio e Taciano, pelo apoio constante e presença na minha vida;

À minha sobrinha Clarice, por tornar meus dias mais prazerosos, durante a realização deste curso;

Ao meu marido, Felizardo, pelo amor, compreensão e seu incansável apoio, que mesmo longe sempre se mostrou presente nos momentos difíceis;

Ao Programa de Pós-Graduação da Produção Vegetal da UENF, pela oportunidade de realização deste curso;

A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo suporte financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos;

A Mars Centro de Estudo do Cacau pela oportunidade de realização do meu trabalho, em especial à Pesquisadora Dr^a Regina Cele Rebouças Machado pelas suas valiosas sugestões como co-orientadora, apoio e amizade;

Ao Pesquisador Dr. Virupax C. Baligar da United States Department of Agriculture (USDA), pelo apoio financeiro do projeto;

Ao Professor José Tarcísio Lima Thiebáut, pela sua incansável ajuda nas análises estatísticas, pela sua paciência, sabedoria e amizade;

À Professora Mara de Menezes de Assis Gomes pelas valiosas sugestões;

À Dr^a Marta Simone Mendonça Freitas, pelas críticas e sugestões;

A Valdivino e Roberto pela ajuda na condução do experimento. Sem vocês tudo ficaria mais difícil;

Às laboratoristas Kátia e Vanilda, pelo grande auxílio e trabalhos prestados;

Aos colegas do laboratório, Joice, Patrícia, Zaia, Alexandre, Marihus, Danielle, Carmem, Leisiane, Jader, Leonardo, Sidy;

A Marcela Campanharo, Alessandra Dardengo, Nathália Felice e Maria Kellen, pela amizade, apoio e momentos felizes de descontração;

A Juliana Mauri por seu constante apoio, companheirismo e por se mostrar sempre uma grande amiga;

A Dirceu, Carlos, Willy e Lanibell pelo bom convívio em Itabuna, em especial a Rogério Hanada por se mostrar amigo de todas as horas;

Às colegas de república, Iliani, Giselda, Aline, Juscelina pela convivência durante o período de realização do curso;

A todos que não foram nominalmente citados, mas que contribuíram para que meu objetivo fosse alcançado.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE TABELAS..... | vi |
| LISTA DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMO..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. A cultura do cacau..... | 3 |
| 2.2. O fósforo no solo e na planta..... | 4 |
| 2.3. Eficiência de absorção e utilização de fósforo pelas plantas..... | 5 |
| 3. TRABALHOS | |
| 3.1 DESENVOLVIMENTO DO CACAUEIRO (<i>Theobroma cacao</i> L.) SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO | 8 |
| RESUMO..... | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| INTRODUÇÃO..... | 10 |
| MATERIAIS E MÉTODOS..... | 11 |
| Implantação do experimento..... | 11 |
| Delineamento experimental..... | 13 |
| Amostragem e análises do material vegetal e solo..... | 14 |
| Variáveis analisadas..... | 14 |
| Análise estatística..... | 16 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 16 |

| | |
|---|----|
| Produção de biomassa..... | 16 |
| Conteúdo e eficiência de fósforo na planta..... | 23 |
| CONCLUSÕES..... | 33 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 34 |
| 3.2. EFICIÊNCIA DE USO DE FÓSFORO EM DIFERENTES GENÓTIPOS DE CACAUEIRO (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 38 |
| RESUMO..... | 38 |
| ABSTRACT..... | 39 |
| INTRODUÇÃO..... | 40 |
| MATERIAIS E MÉTODOS..... | 41 |
| Implantação do experimento..... | 41 |
| Delineamento experimental..... | 43 |
| Amostragem e análises do material vegetal e solo..... | 43 |
| Variáveis analisadas..... | 44 |
| Análise estatística..... | 47 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 47 |
| Produção de biomassa..... | 47 |
| Análise de crescimento..... | 54 |
| Conteúdo e eficiência de fósforo..... | 60 |
| Parâmetro α | 77 |
| CONCLUSÕES..... | 78 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 79 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES..... | 84 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 87 |
| APÊNDICE A..... | 92 |
| APÊNDICE B..... | 98 |

LISTA DE TABELAS

TRABALHO 3.1

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Teor de fósforo disponível no solo após 30 dias de incubação nos solos analisados..... | 14 |
| Tabela 2. Produção de massa seca total, produção relativa, doses de P, teores críticos de P no solo e na planta que corresponde a 90 % da produção máxima estimada do CCN-51 e VP-01 cultivados no LVA e Cam..... | 22 |
| Tabela 3. Recuperação de fósforo por plantas de cacauero presentes no LVA e Cam, submetidas as doses do nutriente..... | 27 |
| Tabela 4. Teor médio de fósforo disponível no solo, 180 após a colheita das plantas..... | 28 |

TRABALHO 3.2

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Características produtivas dos clones paternos utilizados..... | 42 |
| Tabela 2. Teor médio de fósforo disponível no solo e recuperado pelo extrator após 60, 120, 180 e 240 dias de incubação no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)..... | 44 |
| Tabela 3. Conteúdo de fósforo no cotilédone (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero, no transplante e após sua queda natural..... | 68 |
| Tabela 4. Teor médio de fósforo (mg dm^{-3}) disponível no solo, após a época de cada amostragem das plantas na presença das suas doses de fósforo..... | 69 |

APÊNDICE A

| | |
|--|----|
| Tabela 1A. Média de massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR), planta total (MST) e área radicular (AR) de dois genótipos de cacaueteiro (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas..... | 93 |
| Tabela 2A Conteúdo de P da parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (PPL) de dois genótipos de cacaueteiro (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas..... | 94 |
| Tabela 3A. Eficiência de absorção de P com base na MS da raiz (EAP) ¹ , eficiência de absorção de P com base na área radicular (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização de P (EUP) de dois genótipos de cacaueteiro (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas..... | 95 |
| Tabela 4A. Resumo da análise de variância dos dados de produção de massa seca na parte aérea (MSPA), raiz (MSR), total (MST), conteúdo de P na parte aérea (PPA), raiz (PRA), total P (PPL), área radicular (AR), eficiência de absorção com base na MS raiz (EAP) ¹ , eficiência de absorção com base na AR (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização (EUP) de P do cacaueteiro, submetido a diferentes doses de fósforo..... | 96 |
| Tabela 5A. Características químicas e físicas das amostras de solos usadas no do experimento na profundidade de 5 a 30 cm..... | 97 |

APÊNDICE B

| | |
|---|----|
| Tabela 1B. Média de massa seca acumulada na parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e planta total (MST) nas doses de 0 e 80 mg P dm ⁻³ de cinco genótipos de cacaueteiro em diferentes épocas de amostragens..... | 99 |
| Tabela 2B. Resumo da análise de variância dos dados de massa seca acumulada na parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e planta total (MST) de genótipos de cacaueteiro, submetido a doses de P e cinco épocas de amostragens..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 3B. Área foliar (AF) ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) e área radicular (AR) ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) nas doses de 0 e 80 mg P dm^{-3} de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens..... | 100 |
| Tabela 4B. Valores médios de conteúdo P acumulado na parte aérea (PPA), raiz (PR) e planta total (PPT) nas doses de 0 e 80 mg P dm^{-3} de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens..... | 101 |
| Tabela 5B. Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo P acumulado parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (PPL) de genótipos de cacauero, submetidos a doses de P e cinco épocas de amostragens..... | 101 |
| Tabela 6B. Valores médios da eficiência de absorção de fósforo com base na massa seca acumulada raiz (EAP^1) e com base na área radicular (EAP) (mg g^{-1}), eficiência de translocação (ETP) (%) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) ($\text{g}^2 \text{ mg}^{-1}$) nas doses de 0 e 80 mg P dm^{-3} de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens..... | 102 |
| Tabela 7B. Resumo da análise de variância dos dados de eficiência de absorção com base na massa seca da raiz (EAP^1) e com base na área radicular (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização (EUP) de P de genótipos de cacauero, submetido a doses de P e cinco épocas de amostragens..... | 103 |

LISTA DE FIGURAS

TRABALHO 3.1

| | |
|--|----|
| Figura 1. Massa seca da parte aérea (MSPA) do cacauero em função das doses de P aplicadas..... | 17 |
| Figura 2. Massa seca da raiz (MSR) do cacauero em função das doses de P aplicadas..... | 18 |
| Figura 3. Área radicular (AR) do cacauero em função das doses de P aplicadas..... | 19 |
| Figura 4. Massa seca total (MST) do cacauero em função das doses de P aplicadas..... | 19 |
| Figura 5. Relação raiz/parte aérea (RRPA) do cacauero em função das doses de P aplicadas..... | 21 |
| Figura 6. Conteúdo de P na parte aérea (PPA) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas..... | 24 |
| Figura 7. Teor de fósforo na folha (PF) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas..... | 24 |
| Figura 8. Conteúdo de P na raiz (PRA) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas..... | 25 |
| Figura 9. Conteúdo de P na planta (PPT) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas..... | 25 |
| Figura 10. Eficiência de absorção de fósforo pelo cacauero (mg g^{-1}) com base na massa seca da raiz em função das doses do nutriente aplicadas..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 11. Eficiência de absorção de fósforo pelo cacauero (mg cm^{-2}) com base na área radicular em função das doses do nutriente aplicadas..... | 29 |
| Figura 12. Eficiência de translocação de fósforo pelo cacauero (%) em função das doses do nutriente aplicadas..... | 30 |
| Figura 13. Eficiência de utilização de fósforo pelo cacauero ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$) em função das doses do nutriente aplicadas..... | 30 |
| TRABALHO 3.2 | |
| Figura 1. Massa seca acumulada na parte aérea (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 49 |
| Figura 2. Massa seca acumulada na raiz (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 50 |
| Figura 3. Massa seca acumulada na planta total (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 51 |
| Figura 4. Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 55 |
| Figura 5. Área radicular ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função da épocas de amostragens..... | 56 |
| Figura 6. Taxa de assimilação líquida (TAL) ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 60 |
| Figura 7. Conteúdo de P acumulado na parte aérea (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 62 |
| Figura 8. Conteúdo de P acumulado na raiz (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 63 |
| Figura 9. Conteúdo P acumulado na planta (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 64 |
| Figura 10. Influxo de P ($\text{mg cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Figura 11. Eficiência de absorção P (mg g^{-1}) com base na massa seca acumulada na raiz de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 71 |
| Figura 12. Eficiência de absorção P (mg cm^{-2}) com base na área radicular de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 72 |
| Figura 13. Eficiência de translocação P (%) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 74 |
| Figura 14. Eficiência de utilização P ($\text{g}^2 \text{ mg}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens..... | 76 |
| Figura 15. Classificação de genótipos de cacauero quanto à eficiência de uso de P e à resposta à adubação. ER = eficiente e responsivo; ENR = eficiente e não-responsivo; NER = não-eficiente e responsivo e NENR = não-eficiente e não-responsivo..... | 77 |

RESUMO

DA SILVA, Joseane Oliveira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; novembro de 2007; Eficiência de utilização de fósforo no cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). Orientador: Antônio Carlos da Gama-Rodrigues. Co-orientadores: Regina Cele Rebouças Machado; Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

O trabalho foi realizado no viveiro da Mars Centro de Ciência do Cacau, Barro Preto – BA, em duas etapas. Na primeira etapa foi instalado um experimento com o objetivo de verificar a resposta de plantas de cacauzeiro a diferentes doses de fósforo (P), em dois tipos de solo, utilizados como substrato: o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Cambissolo Eutrófico (Cam). Utilizaram-se dois genótipos (CCN-51 e VP-01) e seis doses de fósforo: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 2 x 2 com 8 repetições. O CCN-51 é um clone derivado do cruzamento de (ICS-95 x IMC-67) x Canelos e o VP-01 é proveniente da população de cacauzeiros descendentes do Catongo. O P foi dosado por espectrofotometria e os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando-se equações de regressão em função das doses de P aplicadas no solo. As plantas foram cultivadas por 180 dias, avaliando-se a produção de biomassa, nível crítico de P no solo e na folha, conteúdo de P e eficiência de absorção, translocação e utilização de P pelo cacauzeiro. Houve maior incremento de massa seca da parte aérea, raiz e planta total quando desenvolvidas no Cam. A dose de

fósforo aplicada que correspondeu a 90% da produção máxima da massa seca total do CCN-51 e VP-01 no Cam e no LVA, respectivamente foi 80 mg P dm^{-3} . O nível crítico de fósforo na folha em ambos os genótipos foi de $1,17 \text{ g kg}^{-1}$ no LVA e de $1,57$ e $1,44 \text{ g kg}^{-1}$ para o CCN-51 e o VP-01 presentes no Cam. As plantas desenvolvidas no LVA acumularam menor quantidade do P, comparado ao Cam. Com o aumento das doses de P no solo, houve redução da eficiência de utilização de P pelos genótipos. Na segunda etapa, com base no valor médio da dose que correspondeu a 90 % da produção máxima (80 mg P dm^{-3}), implantou-se um experimento visando avaliar cinco genótipos quanto à eficiência na absorção, translocação e utilização de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram utilizados genótipos provenientes de sementes produzidas por polinização manual controlada do cruzamento de cinco clones de cacaueteiro, sendo que no cruzamento, o “Catongo”, considerado o pai e o CCN-51, COCA 3370/5, LCTEEN-37A e AMAZ-15 como as mães dos genótipos. Esses genótipos foram submetidos a duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}), sendo avaliados em cinco épocas de amostragens ($0, 60, 120, 180$ e 240 dias após o transplante), no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial $5 \times 2 \times 5$ com 7 repetições, totalizando 350 unidades experimentais. A produção de massa seca da parte aérea, raiz e planta total foram superiores na dose 80 mg P dm^{-3} comparados à baixa disponibilidade de P (0 mg dm^{-3}). O LCTEEN-37A x Catongo foi o que apresentou na baixa dose de P (0 mg dm^{-3}) melhor desenvolvimento de área foliar aos 240 dias após o transplante. Nessa mesma época, o AMAZ-15 x Catongo apresentou maior área de raiz na baixa disponibilidade de P. O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo com maior taxa de crescimento relativo (TCR) nas duas doses de P. Em ambas as doses, o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior acumulação de fósforo na parte aérea e planta total em relação aos genótipos avaliados aos 120 e 150 dias após o transplante. O CCN-51 x Catongo inicialmente apresentou maior taxa de influxo, reduzindo em torno de 15 dias quando submetido à dose 0 mg P dm^{-3} e 45 dias na dose 80 mg P dm^{-3} . Em geral, todos os genótipos mostraram maior translocação de fósforo com o aumento da concentração deste elemento no solo. Os genótipos eficientes e responsivos ao fósforo foram o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, não sendo influenciados pelas características do Catongo que foi considerado não eficiente e não responsivo.

ABSTRACT

DA SILVA, Joseane Oliveira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; november, 2007; Phosphorus use efficiency in the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). Advisor: Antônio Carlos da Gama-Rodrigues. Co-advisor: Regina Cele Rebouças Machado; Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

The work was carried out in the Mars Center of Cocoa Science, Barro Preto – BA, in two stages. In the first stage an experiment was accomplished with the objective to verify the answer of seedling cocoa tree to different phosphorus doses (P), in two soil types, it was used Red Yellow Latossol (LVA) and Eutrophic Cambissol (Cam) as substratum. It was used two *Theobroma cacao* L. genotypes (CCN-51 and VP-01) in the presence of six phosphorus doses: 0, 50, 100, 200, 300 and 400 mg dm⁻³, in random blocks design in factorial outline 6 x 2 x 2 with 8 replications. The seedling were cultivated by 180 days, being evaluated the biomass yield, P critical level in the soil and leaf, the P content and absorption efficiency, translocation and use of P for the cocoa tree. The results showed answer difference to the phosphorus among genotypes and among soils. The largest P-remainder favored larger match accumulation in the cocoa tree seedling. The critical level in the soil and in the leaf it varied with the soil type and genotype. There was reduction of the efficiency of use of P for the studied genotypes, with addition of phosphorus doses in the soil. The average dose of phosphorus in the genotypes for two soils studied that corresponding 90% of the maximum yield was 80 mg P dm⁻³. With this data, it was carried out a second experiment intends to

evaluate five genotypes cocoa tree as for the efficiency in the absorption, translocation and phosphorus use in the soil in a Red Yellow Latossol. It was use genotypes cocoa trees from controlled manual pollination by crossing of five clones of cocoa tree, and in the crossing, the "catongo", considered the father and CCN-51, COCA 3370/5, LCTEEN-37A and AMAZ-15 as the mothers of the genotypes. Those genotypes were submitted to two phosphorus doses (0 and 80 mg dm⁻³), being evaluated five times of samplings (0, 60,120, 180 and 240 days after the transplant), in the randon block design factorial outline 5 x 2 x 5 with 7 replications, totaling 350 experimental units. According to results, the production of dry mass of the aerial part, root and plant total were higher in the 80 mg dm⁻³ P dose compared to the low available P (0 mg dm⁻³). In the low phosphorus doses (0 mg dm⁻³ of P), the genotype LCTEEN-37A x Catongo presented the better development leaf area in 240 days after the transplant. In that same time, AMAZ-15 x Catongo presented largest root area in low available of P. The LCTEEN-37A x Catongo was the genotype with the highest rate of relative growth (TCR) in the two doses of P. In both doses, the genotypes LCTEEN-37A x Catongo presented larger phosphorus accumulation in the aerial part and total plant in relation to the evaluated genotypes to the 120 and 150 days after the transplant. The CCN-51 x Catongo initially presented larger influx rate, reducing around 15 days when submitted to the dose 0 mg P dm⁻³ and 45 days in the dose 80 mg P dm⁻³. In general, all of the genotypes showed higher phosphorus translocation with the increase of the concentration of this element in the soil. The efficient and responsive genotypes to the phosphorus were LCTEEN-37A x Catongo and AMAZ-15 x Catongo, but not being influenced by the characteristics of the Catongo; this one was considered no efficient and no responsive.

1. INTRODUÇÃO

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta da família *Sterculiaceae*, nativa das florestas quentes e úmidas, com origem nas nascentes das bacias do rio Amazonas e Orinoco (CEPLAC, 2007).

Em produção, atualmente o Brasil ocupa a sexta posição com uma produção na safra 2005 / 2006 de 162.000 toneladas, perdendo apenas para Costa do Marfim, Gana, Nigéria, Camarões que apresentaram uma produção de 1.408.000,000; 740.000; 520.000; 200.000 e 167.000 toneladas, totalizando 3.716.000,000 toneladas. Para safra 2006/2007 espera-se uma produção mundial de 3.435 milhões de toneladas (Barry Callebaut, 2007).

A Bahia apresentou uma produção na safra 2004 / 2005 de 122.000 toneladas, com uma previsão na safra de 2006 / 2007 de 115.000 toneladas com participação na produção brasileira de 82 % (CEPLAC, 2007).

No Brasil, o cacau adaptou-se perfeitamente ao clima e solos do Sul da Bahia, constituindo-se em um dos pilares fundamentais para o enriquecimento de muitas famílias de cacauicultores, contribuindo em muito para o desenvolvimento regional.

Na década de 60, teve início a pesquisa sobre fertilização do cacauzeiro na região Sul da Bahia, com estudos de níveis crescentes de NPK sendo os solos dessa região pobres em fósforo (P), constituindo fator limitante na produção do cacauzeiro, sendo que, a maior parte do elemento adicionado a este solo é fixada em formas não utilizáveis pela planta.

Isso indica que a adubação nem sempre representa uma solução definitiva, já que o fósforo aplicado no solo torna-se muitas vezes indisponíveis à planta ao reagirem com óxidos de hidróxidos de ferro e alumínio.

Para reduzir o custo da adubação fosfatada, é possível empregar fontes alternativas como rochas fosfatadas, utilizar a ciclagem de nutrientes, bem como selecionar cultivares mais eficientes na absorção de fósforo.

A deficiência de Pi em muitos solos forçou a planta a desenvolver mecanismos para absorver nutrientes. Com isso, há uma alteração da morfologia da raiz e proliferação preferencial de raízes comparado com a parte aérea da planta sob condições de deficiência de Pi. Fatores associados à raiz tais como morfologia, arquitetura, densidade dos pêlos radiculares e comprimento, taxa de absorção de nutriente, habilidade para modificar a rizosfera e associação simbiótica com micorrizas pode influenciar na aquisição de Pi.

É importante ressaltar que a eficiência de absorção de nutrientes e sua relação com a morfologia das raízes devem, no entanto, ser investigadas em experimentos com solo. Fatores como pêlos radiculares, micorrizas e morfologia radicular podem provocar diferenças na eficiência de absorção de nutrientes entre as variedades cultivadas em solo e, conseqüentemente, diferenças na eficiência nutricional das plantas.

O aproveitamento do potencial de adaptação dos materiais vegetais tolerantes a baixos níveis de fósforo disponível no solo, em uma ação conjunta de estudo de fisiologia, nutrição e melhoramento de plantas, é uma estratégia viável na eficiência de utilização do elemento no solo.

A seleção de novos clones de cacauero com alta eficiência na absorção de fósforo constitui um importante fator no aumento da produtividade do cacauero e na otimização nos custos de produção com redução do uso de fertilizantes, principalmente fósforo que constitui uma fonte esgotável, bem como o aproveitamento de solos de baixa fertilidade e elevada acidez. Isso poderá constituir-se em uma importante estratégia para reduzir os gastos com adubação.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta do cacauero (CCN-51 e VP-01) submetido à aplicação do fósforo no Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Eutrófico e avaliar a eficiência de cinco genótipos de cacauero na baixa e alta disponibilidade de fósforo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do cacau

Por ser uma planta na qual é possível conviver com espécies da floresta natural, permite, que seja conservada a biodiversidade da área explorada, graças a sua implantação sob a mata raleada, também conhecida como sistema cabruca.

O sistema radicular do cacauzeiro é formado por uma pivotante e, a partir dela, são lançadas as raízes laterais, principalmente próximos à superfície do solo. As folhas possuem posições alternadas e opostas nos ramos laterais e as flores se formam em inflorescências no tronco, como almofadas florais, onde se desenvolvem e formam os frutos (Gramacho et al., 1992). De acordo com Nakayama et al. (1996), as folhas são oblongas, grandes e membranáceas.

Apesar de serem conhecidas 22 espécies pertencentes ao gênero *Theobroma*, o cacauzeiro é utilizado na produção de sementes que após secas e beneficiadas, serão utilizadas principalmente na fabricação de chocolates (Sodré, 2007), além da manteiga, pó de cacau, liquor e a torta, apresentando um alto valor nutritivo e alimentício (Souza e Dias, 2001).

A partir de 1989, o fungo *Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer, causador da vassoura-de-bruxa, infestou os cacauzeiros no Sul da Bahia, provocando uma diminuição de até 100 % da produção de cacau e diversas propriedades rurais (Dantas Neto et al., 2005).

A seleção de novos materiais tem sido intensificada e atualmente, diversos clones com bons níveis de resistência à doença já foram disponibilizados aos produtores da região Sul da Bahia (Oliveira e Luz, 2005).

2.2. O fósforo no solo e na planta

Geralmente os solos da região Sul da Bahia são deficientes em fósforo (P), constituindo importante fator limitante na produção do cacauzeiro (Cabala-Rosand et al., 1982), apresentando freqüentemente teores baixos ($> 10 \text{ mg P dm}^{-3}$). Experimento conduzido por Cabala-Rosand e Santana (1971) demonstrou que a maior parte do fósforo adicionado nos solos do Sul da Bahia é fixada, possivelmente em formas não utilizadas pelo cacauzeiro.

O fósforo nessa região é o nutriente mais recomendado e também utilizado em maiores dosagens pelo fato dos solos apresentarem deficiência desse elemento. Para reduzir o custo da adubação fosfatada torna-se necessário empregar fontes alternativas, utilizar a ciclagem de nutrientes e selecionar cultivares mais eficientes na absorção de fósforo.

A resposta do cacauzeiro à aplicação de fertilizantes tem sido observada desde a década de 20 (Beckett, 1930, citado por Cabala-Rosand, et al., 1982). No entanto, de acordo com estes autores, estudos sobre a adubação do cacauzeiro apenas tiveram maior relevância a partir de 1953 com associação da aplicação de fertilizantes ao fator intensidade luminosa.

O fornecimento de fósforo para a planta pode ser afetado pelo fator capacidade tampão de fosfato (FCP), fator quantidade de P (Q), fator intensidade de P (I) e a difusão, uma vez que a mobilidade de P_i no solo é baixa, na qual a taxa de difusão varia de 10^{-12} a $10^{-15} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Novais e Smyth, 1999).

Morais e Pereira (1986) avaliando a resposta do cacauzeiro à aplicação de fertilizantes no Podzólico Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estrutura e Latossolo Amarelo com concentração natural de fósforo de 9, 5 e 2 mg P dm^{-3} , respectivamente, observaram que no Latossolo Amarelo houve efeito significativo da aplicação de P no solo, ou seja, houve um melhor aproveitamento do P no solo com sua menor disponibilidade.

De acordo com Campos (1982), estudos realizados em solos representativos dos pólos cacauzeiros da Amazônia em casa de vegetação, observou-se que o fósforo foi o principal nutriente que limitou a produção de biomassa de plântulas de cacau em solos de baixa e média fertilidade natural.

Geralmente o fósforo é o nutriente que favorece o maior incremento do cacauzeiro (Morais et al., 1981), e a deficiência de P no solo limita o seu desenvolvimento (Morais et al., 1978).

A deficiência de fósforo no solo é uma das principais limitações na produtividade da cultura, principalmente em solos com elevada capacidade de fixação de P por compostos de ferro e alumínio.

As plantas quando desenvolvidas em solos com baixa disponibilidade de Pi no solo desenvolvem mecanismos para absorver o nutriente. Esses mecanismos são: densidade, arquitetura e comprimento dos pêlos radiculares (Raghothama, 1999; Raghothama e Karthikeyan, 2005).

Cabala-Rosand e Mariano (1985) observaram superioridade da combinação SIC 831 x Sca 6, seguida das SIC 831 x IMC 67 e SIC 823 x ICS 1 sobre a combinação SIC 864 x SIC 328 e “Catongo” de polinização livre, com uma estreita associação entre o conteúdo de fósforo na planta e as variáveis comprimento e superfície de raízes indicando, assim, que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular. Cultivares de cacau apresentando tanto maior área, como maior comprimento de raízes (SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67) absorveram mais fósforo do meio de crescimento, sendo mais apropriadas para cultivos em solos de baixa fertilidade e com menores quantidades de adubos fosfatados.

Apesar do P ser absorvido nas formas de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , a absorção ocorre preferencialmente na forma monovalente. Esse processo é determinado tanto pelo pH como pela disponibilidade de P, uma vez que a velocidade de reação diminui quando seu teor é limitado (Araújo e Machado, 2006).

2.3. Eficiência de absorção e utilização de fósforo pelas plantas

As plantas apresentam diferenças quanto à sua capacidade em absorver e utilizar os nutrientes. No caso do fósforo, Akinrinde e Gaizer, (2006) trabalhando com variedades de arroz observaram diferenças significativas quanto à eficiência de uso desse nutriente, portanto a exigência é variável em função das espécies e entre variedades da mesma espécie (Baligar e Fageria, 1997).

Vários autores definem a eficiência nutricional de diferentes maneiras. Para Baligar e Fageria (1999) o termo eficiência é utilizado para diferenciar as espécies de plantas, genótipos e cultivares pela sua habilidade em absorver e utilizar os nutrientes. Já para Blair (1993) eficiência nutricional está relacionada com a habilidade do genótipo/cultivar adquirir nutrientes do meio de crescimento e/ou incorporar ou utilizá-lo na produção da biomassa da parte aérea e raiz.

De acordo com Fageria (1998) as plantas são classificadas quanto à eficiência de utilização de fósforo em: 1) eficientes e responsivos (ER), são aqueles que produzem muito sob condições de baixo nível de fósforo; 2) eficientes e não responsivos (ENR), representam os que produzem muito com baixo nível de fósforo, mas não respondem ao alto nível de fósforo; 3) não eficientes e responsivos (NER), produzem pouco, sob baixo nível de fósforo, mas apresentam apreciáveis aumentos na produção no nível alto de fósforo; 4) não eficientes e não responsivos (NENR), produzem pouco tanto com baixo como em altos níveis de fósforo disponíveis.

Nesse sentido, propõe que os genótipos de cacaveiro se enquadrem em (ER), pois são recomendados para o cultivo com baixa tecnologia, no que tange a adubação fosfatada.

A capacidade de se desenvolver em solos com baixo teor de fósforo disponível tem sido atribuída a diversos fatores, incluindo diferenças na morfologia do sistema radicular e densidade dos pêlos radiculares (Baligar et al., 2001), como observado por Krasilnikoff et al. (2003) que trabalhando com genótipos de feijão-fradinho em baixa disponibilidade de fósforo, observaram que os genótipos diferiram no comprimento radicular e dos pêlos radiculares como sendo a principal estratégia para aquisição de fósforo do solo.

Dechassa et al. (2003) observaram que a eficiência de absorção de fósforo está associada com alta taxa de absorção do nutriente por unidade de comprimento de raiz ou com alta relação raiz / parte aérea. E, Wissuma, (2005) concluiu que a taxa de crescimento da raiz depende do fornecimento de fósforo, pois a deficiência do elemento reduz o acúmulo de biomassa, afetando o crescimento radicular. Para Walk et al. (2006), a maior distribuição das raízes adventícias aumenta a eficiência de absorção de fósforo do solo.

Pacheco et al. (2006) observaram que a produção de massa seca e a eficiência de utilização de fósforo por diferentes clones de cacaveiros (TSA 792, TSA 654, TSH 1188 e CEPEC 2006) com oito meses de idade, em casa-de-vegetação, não foram significativamente diferente.

Diferenças na eficiência nutricional entre híbridos de eucalipto têm sido constatadas, podendo representar um fator importante na economia ou uso no emprego mais racional de fertilizantes (Del Quiqui et al. 2004). Furtini Neto et al. (1996), Resende et al. (2000) e Luca et al. (2002) estudaram a eficiência de

utilização de fósforo por essa espécie e observaram que a maior eficiência de utilização de fósforo pelo eucalipto decorreu de sua maior produção de massa seca.

Além dos fatores pertinentes a planta, os fatores edafoclimáticos também interferem na eficiência de absorção e utilização de fósforo tais como, temperatura, radiação solar, precipitação, pH do solo, matéria orgânica do solo e toxidez de alumínio. Illenseer e Paulilo, (2002) trabalhando com plantas jovens de *Euterpe edulis* Mart., observaram que a maior eficiência de utilização de fósforo foi quando as plantas foram submetida a maiores irradiâncias.

Dantas et al., (2006) trabalhando com jurema e gliricídias em dois tipos de solo (Neossolo e Luvisolo), observaram que a gliricídia apresentou maior eficiência de uso de fósforo no Neossolo, devido à menor concentração de argila e silte, sendo menos favorável à transformação do fósforo para formas menos lábeis.

Os fatores genéticos e moleculares da planta atuam também nos transportadores, funcionando em altas e baixas concentrações de Pi no meio (Raghothama e Karthikeyan, 2005), no qual, o transporte de fosfato é responsabilidade das proteínas integrais de membrana por adquirir Pi da rizosfera ou transferir-lo para diferentes tecidos ou órgãos, com a participação de transportadores de alta e baixa afinidade de Pi. (Raghothama, 1999).

O Pi adquirido pelas raízes é rapidamente transportado para dentro do xilema, movendo para a parte aérea. Ele também é reciclado de tecidos velhos e senescentes, por um processo que aumenta com a deficiência de Pi (Raghothama e Karthikeyan, 2005).

O estudo proposto poderá adicionar informações à literatura pouco existente sobre a eficiência de absorção e utilização de fósforo no cacaueteiro, bem como incrementar os programas de melhoramento genético no cacaueteiro, levando à obtenção de plantas com elevado potencial produtivo, e com maior adaptação a condições de baixo teor de fósforo no solo, como é o caso dos solos da região cacaueteira do Sul da Bahia, conseqüentemente otimizando os custos de produção com a redução da aplicação de adubações fosfatadas pesadas a fim de suprir a demanda da cultura.

3. TRABALHOS

3.1. DESENVOLVIMENTO DO CACAUEIRO (*Theobroma cacao* L.) SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO

RESUMO

Com o objetivo de verificar a resposta de plantas de cacaueteiro a diferentes doses de fósforo, em dois tipos de solo, instalou-se um experimento no viveiro da Mars Centro de Ciência de Cacau, Barro Preto, Bahia. Foram utilizados dois tipos de substrato: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Cambissolo Eutrófico (Cam), dois genótipos de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) (CCN-51 e VP-01), e seis doses de fósforo: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg P dm⁻³, no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 2 x 2 com 8 repetições. O CCN-51 é um clone derivado do cruzamento de (ICS-95 x IMC-67) x Canelos e o VP-01 é proveniente da população de cacaueteiros descendentes do Catongo. O P foi dosado por espectrofotometria e os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando-se equações de regressão em função das doses de P aplicadas no solo. Houve maior incremento de massa seca da parte aérea, raiz e planta total do cacaueteiro quando desenvolvidas no Cam. As doses de fósforo aplicadas que corresponderam a 90% da produção máxima da massa

seca total do CCN-51 e VP-01 foram 33,39 e 122,94 mg dm⁻³ no Cam e no LVA, respectivamente. O nível crítico de fósforo na folha em ambos os genótipos foi de 1,17 g kg⁻¹ no LVA e de 1,57 e 1,44 g kg⁻¹ para o CCN-51 e o VP-01 presentes no Cam. As plantas desenvolvidas no LVA acumularam menor quantidade do P, comparado ao Cam. Com o aumento das doses de P no solo, houve redução da eficiência de utilização de P pelos genótipos.

ABSTRACT

This study evaluated the response of cocoa seedlings to different phosphorus doses, in two types of soils. The experiment was carried out in the nursery at the Mars Center of Cocoa Science, Barro Preto, Bahia, using a Latossoil Red-Yellow (LVA) and Eutrophic Cambissoil (Cam). It was used two cocoa genotypes (*Theobroma cacao* L.), CCN-51 and VP-01, and six doses: 0, 50, 100, 200, 300 and 400 mg P dm⁻³, in a randomized block design in factorial (6 x 2 x 2) with 8 replications. The CCN-51 is a derived clone of the crossing of (ICS-95 x IMC-67) x Canelos and the VP-01 is descending of the cocoa trees of Catongo. The P was dosed in a spectrophotometer, and the data were statistically analyzed using adjusted regression equations in function of the P doses applied in the soil. There was larger increment of dry matter of the aerial, root and total biomass when developed in Cam. The applied phosphorus doses that corresponded to 90% of the maximum production of the total dry mass of CCN-51 and VP-01 were 33,39 and 122,94 mg dm⁻³ in Cam and in LVA, respectively. The critical level of phosphorus in the leaf in both genotypes was of 1,17 g kg⁻¹ in LVA and of 1,57 and 1,44 g kg⁻¹ for CCN-51 and present VP-01 in Cam. The plants cultivated in LVA accumulated smaller amount of P compared to Cam. There was reduction of the efficiency of phosphorus used for the genotypes with the increase of the P doses in the soil.

INTRODUÇÃO

Os solos da região Sul da Bahia são geralmente pobres em fósforo (P), (Morais et al., 1978; Cabala-Rosand et al., 1982), sendo o nutriente mais limitante na produtividade de plantas cultivadas em solos tropicais, ocasionado por fatores relacionados com a mineralogia do solo e devido à forte interação do P com o solo, no qual, normalmente, menos de 0,1% encontra-se em solução (Novais e Smyth, 1999).

Cabala-Rosand e Santana (1988), trabalhando com a eficiência de fosfatos para a cultura do cacau em três tipos de solo, sendo dois de textura franco argiloso e um de textura franco argilo arenosa observaram que a produção de massa seca das plantas diferiu entre solos.

Essa distinção também foi verificada por Santana e Santana (1979), que trabalhando com cinco tipos de solo e quatro doses de fósforo e tendo como plântula de cacau, o Catongo, observaram que houve diferença entre solos. As doses que condicionaram as produções máximas variaram entre 103 e 163 mg P dm⁻³.

Fernandes et al. (2003) observaram que a dose 300 mg P dm⁻³ proporcionou maior produção de massa seca total de plântula de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum), corroborando com Souza et al. (1997), que trabalhando com cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) obtiveram maiores produções de massa seca quando aplicou 300 mg P dm⁻³.

A absorção de fósforo pela planta, depende não somente do fator intensidade, mas também do fator capacidade tampão de fósforo (FCP) que vem a ser a resistência do solo a mudanças no nível desse nutriente na solução do solo, quando posto na forma de fertilizantes ou retirados na forma de colheita, afetando a taxa de difusão de fósforo no solo (Pypers et al., 2006).

Atributos como o P-remanescente e o teor de argila têm sido correlacionados significativamente com o FCP dos solos e com os níveis críticos de P na planta, principalmente entre solos que apresentam mineralogia semelhante e diferem basicamente na quantidade e qualidade da argila.

A taxa de absorção de fósforo pela planta é limitada pela difusão do fósforo no solo, sendo afetada também pelas taxas de crescimento radicular, pela

concentração do elemento na solução do solo e raio médio das raízes (Araújo, 2000).

Uma vez absorvido pelas raízes das plantas, o fósforo é rapidamente transportado para dentro do xilema, movendo-se para a parte aérea (Raghothama e Karthikeyan, 2005). Cabala-Rosand e Mariano (1985) trabalhando com diferentes doses de fósforo em híbridos de cacauzeiros, em casa de vegetação, constataram uma estreita associação entre o conteúdo de fósforo na planta e as variáveis comprimento e superfície das raízes, indicando, assim, que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular.

Embora existam trabalhos relevantes sobre a adubação fosfatada no cacauzeiro, pouco se sabe sobre a resposta a fósforo em fase de viveiro, visto que a maioria dos trabalhos mais freqüentes na década de 80 era sob condições de campo.

O objetivo deste trabalho foi verificar a resposta do CCN-51 e do VP-01 a diferentes doses de fósforo em dois tipos de substrato com características químicas e físicas diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Implantação do experimento

O experimento foi conduzido no viveiro da Mars Centro de Ciência do Cacau, Barro Preto, Bahia, no período de agosto de 2004 a fevereiro de 2005. Foram utilizados dois tipos de solo como substrato: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argilo-arenosa e o Cambissolo (Cam) de textura franco-arenosa, ambos pobres em fósforo (P) apresentando as seguintes características químicas e físicas apresentadas na Tabela 5A.

Os solos foram coletados na profundidade de 5-30 cm, colocados para secar ao ar e peneirados para obter a terra fina seca ao ar (TFSA).

Foram utilizadas plantas de CCN-51 e VP-01 provenientes de sementes produzidas por polinização manual controlada.

O CCN-51 ("Colección Castro Naranjal") é oriundo de uma planta F₁ do cruzamento entre (ICS-95 X IMC-67) cruzada com um clone nativo do oriente equatoriano denominado "Canelos". Produz frutos vermelho-arroxeados quando imaturos, passando a amarelo-alaranjados quando maduros, com casca enrugada e sementes com coloração interna púrpura clara. No Brasil, o nível médio de resistência do CCN-51 à doença causada pelo fungo *Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer, conhecida como vassoura-de-bruxa do cacauero foi confirmada por Pires (2003).

O VP-01 é um acesso selecionado na Fazenda Val Paraíso, em uma população de cacaueros descendentes do Catongo, que apresenta as características de sementes brancas, típicas do Catongo. Possui frutos verdes quando imaturos e amarelos quando maduros, sendo que a casca é quase lisa. Sua principal característica, sob o ponto de vista morfológico, é a cor branca das sementes e verde-claro das folhas jovens. Até o momento ele tem se mostrado resistente à vassoura-de-bruxa.

As sementes do CCN-51 e VP-01 foram germinadas em copos plásticos contendo areia lavada com HCl a 5 %, sendo uma semente por copo e irrigados com água desmineralizada.

Antes do transplante foi feita a correção de acidez do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Não houve necessidade de correção para o Cambissolo (Cam), por apresentar pH elevado (Tabela 5A). Para tanto, o LVA foi incubado durante 30 dias, utilizando CaCO₃ e MgCO₃ na proporção de 3:1 elevando o pH para 5,7.

Trinta dias após a germinação, as plantas foram transplantadas para vasos plásticos com quatro furos na parte inferior contendo quatro dm³ de amostra de solo, sendo uma planta por vaso.

As plantas foram irrigadas com água desmineralizada e, a água percolada foi recuperada em pratos plásticos colocados embaixo dos vasos e recolocada nos respectivos vasos a fim de evitar a perda dos nutrientes.

No ato do transplante, foram amostradas oito plantas de cada genótipo com o objetivo de quantificar a massa seca e teor de fósforo nas folhas, caule, raízes e cotilédone para avaliar o teor de fósforo na planta na época do transplante.

Após a queda natural dos cotilédones das plantas transplantadas, foi feita a análise de fósforo por espectrofotometria, por meio da formação do complexo fósforo-molibdico em meio ácido utilizando a vitamina C com redutor conforme Braga e De Felipo (1974).

A diferença de quanto os cotilédones tinha do elemento (P) no transplante e quanto restou no cotilédone após a queda natural foi analisada a fim de quantificar quanto de fósforo foi absorvido pela planta. O fósforo absorvido pela planta foi estimado calculando-se a diferença no teor de fósforo no cotilédone antes e após a queda do mesmo.

Delineamento experimental

Após o período de incubação do solo, o fósforo foi aplicado nas doses: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³ na forma de soluções de sais p.a. de KH₂PO₄, NH₄H₂PO₄ e de NaH₂PO₄. H₂O. Os demais nutrientes foram fornecidos em adubação básica, para todos os tratamentos, nas seguintes doses, por dm³ de solo: 100 mg de N e 100 mg de K, sob as formas de soluções de (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃ e de KCl e, 1mL dm⁻³ de solução nutritiva de micronutrientes, nas seguintes concentrações em μmol L⁻¹: B= 5,5; Cu= 0,08; Fe= 12,54; Mn= 1,46; Mo= 0,05 e Zn= 0,46.

O P-remanescente corresponde ao teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora da amostra de solo com CaCl 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).

Como o P-remanescente apresenta uma alta correlação negativa como fator capacidade tampão de fosfato (FCP), este foi baseado nos valores de P-remanescente como apresentado na Tabela 5A.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 2 x 2 sendo seis doses de fósforo: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³, dois genótipos de cacaueteiro: CCN-51 e VP-01 e dois tipos de solo como substrato: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (Cam) com 8 repetições, totalizando 192 unidades experimentais.

Amostragem e análises do material vegetal e solo

As plantas foram colhidas cento e oitenta dias após o transplante. As raízes foram separadas da parte aérea e destacadas as raízes laterais da pivotante. A parte aérea foi separada em caule e folhas. As amostras de raízes, folhas e caules foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para o laboratório onde foi efetuada a limpeza com água deionizada.

Após estes procedimentos, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 70 °C até massa constante.

Em seguida foi determinada a massa seca e o material foi triturado em moinho (tipo Wiley) com peneira de 20 mesh (0,841 mm) para posterior análise química. Simultaneamente o solo de cada vaso foi coletado para quantificar o teor de fósforo disponível após a coleta das plantas.

Paralelamente ao experimento, foi feito um ensaio de incubação durante o período de 30 dias, nos dois tipos de solo, utilizando as mesmas doses de fósforo aplicadas no experimento, para quantificar o teor disponível de P no solo (Tabela 1).

O P foi dosado por espectrofotometria, por meio da formação do complexo fósforo-molibdico em meio ácido utilizando a vitamina C como redutor conforme Braga e De Felipo (1974).

Tabela 1. Teor de fósforo disponível no solo após 30 dias de incubação nos solos analisados

| Doses de P (mg dm ⁻³) | P disponível (mg dm ⁻³)* | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) | Cambissolo Eutrófico (Cam) |
| 50 | 7 | 21 |
| 100 | 15 | 42 |
| 200 | 38 | 92 |
| 300 | 54 | 143 |
| 400 | 87 | 147 |

*Recuperado pelo extrator Mehlich 1

Variáveis analisadas

As características avaliadas foram: massa seca da raiz (lateral + pivotante) (MSR), em g planta⁻¹; massa seca da parte aérea (MSPA), em g planta

¹, obtida pela soma de massa seca do caule e das folhas; massa seca total (MST), em g planta⁻¹, pela soma da massa seca da raiz e da parte aérea; relação raiz / parte aérea (RRPA).

Para cálculo da área da raiz (AR) em cm², foi feita uma amostragem com 30 plantas da mesma idade, em que a área de cada raiz foi medida no medidor de modelo AAM-S e pesada a seguir. Com os dados da área da raiz e a massa fresca da raiz (MFR) em gramas, a equação que melhor se ajustou foi uma linear de primeiro grau: $AR = 12,558 * (MFR) - 7,7577$, com correlação positiva ($r = 0,96$; $p < 0,05$).

Os conteúdos de fósforo na raiz (PRA), em mg planta⁻¹; na parte aérea (PPA), em mg planta⁻¹ e planta total (PPL), em mg planta⁻¹, foram obtidos ao multiplicar os respectivos valores de massa seca de cada parte da planta pela sua concentração de fósforo.

Os dados de massa seca total foram ajustados como variável dependente das doses de fósforo testadas para cada solo, obtendo as equações de regressão quadráticas, estimando-se as doses de fósforo necessárias para obter 90 % da produção máxima.

As doses estimadas de fósforo para a obtenção de 90 % da produção máxima estimada foram, em seguida, inseridas nas equações que relacionam teor de fósforo na folha e teor de fósforo disponível no solo (g kg⁻¹) após incubação de 30 dias com doses de fósforo adicionadas, estimando-se assim, o nível crítico do elemento na folha e no solo, respectivamente.

O P-recuperado pela planta em (%) foi estimado de acordo com Furtini Neto et al. (1996), substituindo no denominador a quantidade de fósforo adicionada, por P disponível no solo após incubação por 30 dias (equação 1):

$$P - \text{recuperado} = \frac{PPL_{\text{fertilizada}} - PPL_{\text{na testemunha}}}{P \text{ disponível no solo após incubação por 30 dias}} * 100 \quad (\text{eq.1})$$

Onde PPL_{fertilizada} é o conteúdo de fósforo nas plantas que receberam adubação fosfatada e PPL_{testemunha} é o conteúdo de fósforo na planta testemunha (0 mg P dm⁻³).

Uma vez obtidos os dados de massa seca e os conteúdos de fósforo, estimaram-se os seguintes índices: a) eficiência de utilização do fósforo (EUP) (Siddiqi e Glass, 1981), em g² m⁻¹; b) Eficiência de absorção de fósforo (EAP)

(Swiader et al., 1994), em mg g^{-1} ; c) Eficiência de absorção de fósforo com base na área radicular em mg cm^{-2} e d) Eficiência de translocação de fósforo (Li et al., 1991), equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

$$\text{EUP} = \frac{(\text{Massa seca total})^2}{\text{Conteúdo de P total}} \quad (\text{eq.2})$$

$$\text{EAP} = \frac{\text{Conteúdo de P total}}{\text{Massa seca raiz}} \quad (\text{eq.3})$$

$$\text{EAPR} = \frac{\text{Conteúdo de P total}}{\text{Área radicular}} \quad (\text{eq.4})$$

$$\text{ETP} = \frac{\text{Conteúdo P parte aérea} \times 100}{\text{Conteúdo P total}} \quad (\text{eq.5})$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão para as variáveis estudadas em função das doses de fósforo aplicadas ao solo através do programa estatístico SAEG 5.0 (Gomes e Braga, 1992).

Em decorrência da possível semelhança entre o comportamento dos dois genótipos dentro dos dois solos em estudo, avaliou-se a identidade de modelos por meio de variável *dummy* (Draper e Smith, 1966), para as variáveis qualitativas (solos e genótipos), de acordo com a equação 6:

$$y = a_0 + a_1x + a_2d_1 + a_3d_2 + a_4d_3 + a_5d_1x + a_6d_2x + a_7d_3x + a_8d_4x + e \quad (\text{eq.6}).$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de biomassa

A análise de variância (Tabela 4A) permitiu detectar o comportamento dos genótipos de cacau em resposta às doses de fósforo. Não houve interação entre genótipos e doses de fósforo, para produção de massa seca da raiz (MSR),

massa seca total (MST), indicando que o CCN-51 e o VP-01 não apresentaram diferença estatística quanto às doses de P aplicadas.

A produção de biomassa no LVA e Cam, em função das doses de P aplicadas ao solo, apresentou comportamento semelhante, com tendência quadrática em resposta ao fertilizante fosfatado (Figuras 1, 2 e 4). O valor da interseção da regressão indicou que, para massa seca da parte aérea (MSPA), o VP-01 apresentou melhor crescimento em condições acentuadas de baixa concentração de fósforo no solo que o CCN-51 (Figura 1).

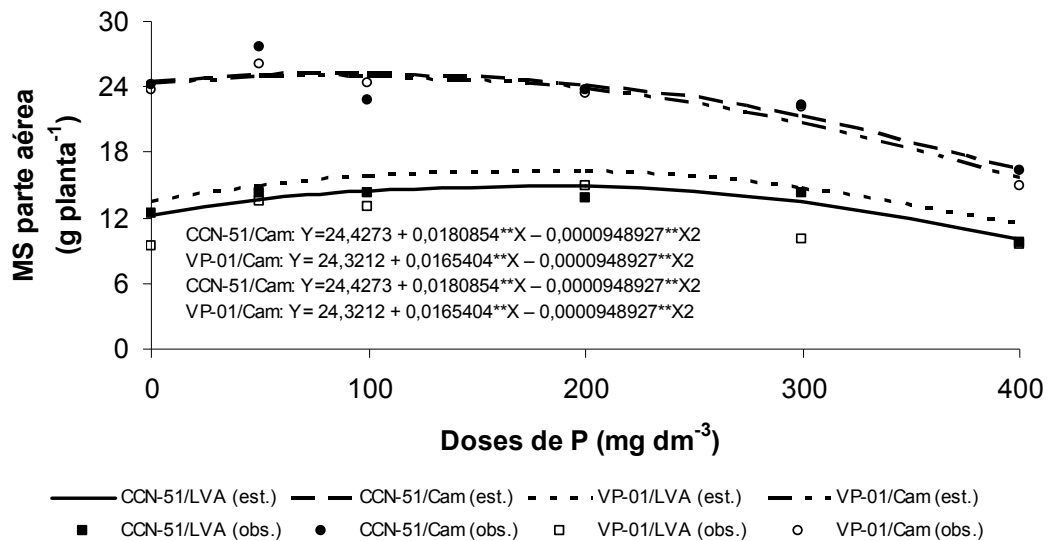


Figura 1. Massa seca da parte aérea (MSPA) do cacaueteiro em função das doses de P aplicadas.

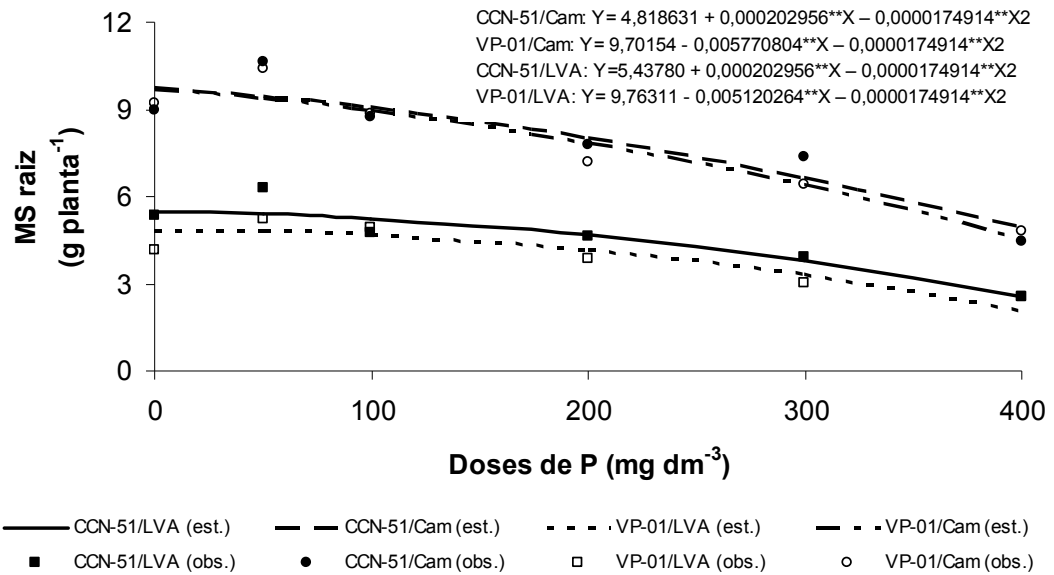


Figura 2. Massa seca da raiz (MSR) do cacaueteiro em função das doses de P aplicadas.

As equações de regressão para as variáveis MSPA, MSR, área radicular (AR) e MST diferiram estatisticamente, pelo teste de identidade de modelos, utilizando variáveis binárias (*Dummy*), para análise das plantas (CCN-51 e VP-01) cultivadas nos dois tipos de solo (LVA e Cam), com valores de R^2 de 0,95 para MSR e AR e de 0,96 para MSPA e MST. Para essas variáveis, as plantas apresentam comportamento diferente, quando cultivadas no LVA e Cam (Figuras 1, 2, 3 e 4).

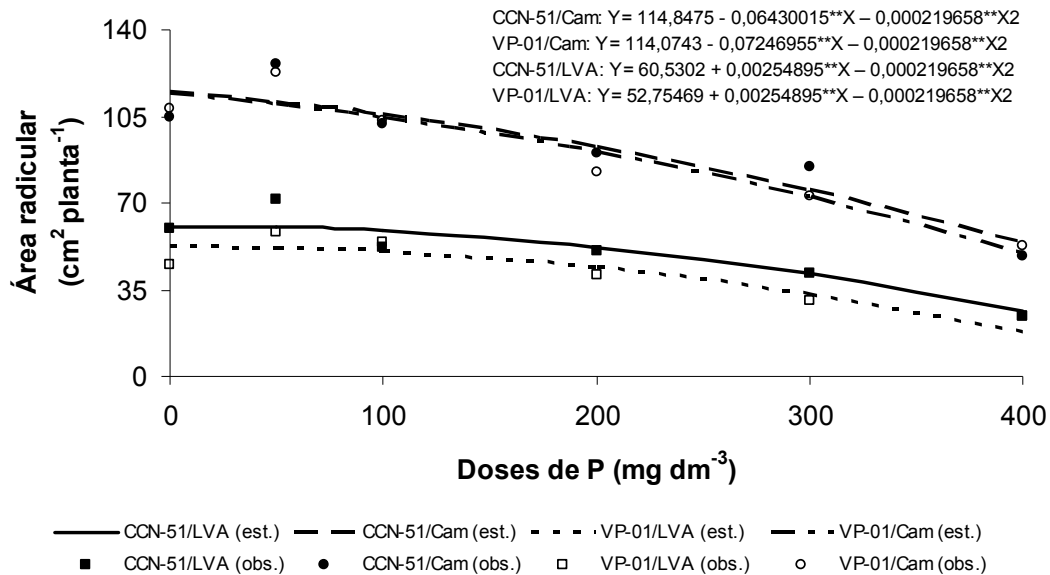


Figura 3. Área radicular (AR) do cacauero em função das doses de P aplicadas.

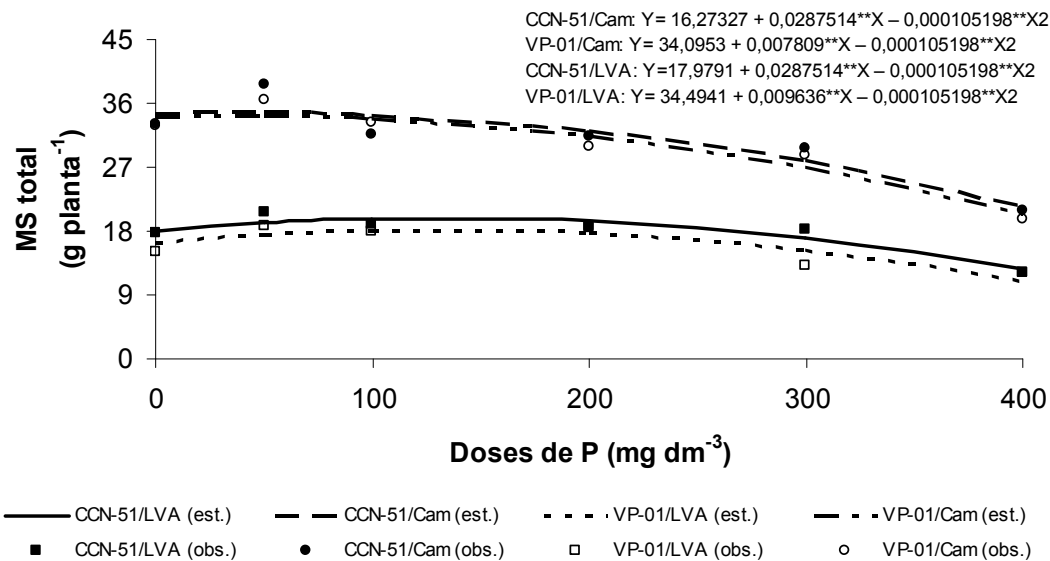


Figura 4. Massa seca total (MST) do cacauero em função das doses de P aplicadas.

As plantas apresentaram um maior incremento de massa seca tanto para parte aérea, raiz como planta total quando desenvolvidas no Cam, devido à presença de menor fator capacidade de fósforo no solo (FCP), indicado pelo maior teor de P-remanescente. O FCP é a resistência do solo a mudanças de fósforo na solução do solo, quando se põe o elemento na forma de fertilizantes ou se retira na forma de colheita, afetando assim, a taxa de difusão do mesmo no

solo (Novais e Smith, 1999; Pypers et al., 2006), além de proporcionar maiores concentrações de fósforo na solução do solo.

Admite-se também que as plantas que se desenvolveram no Cam, no tratamento sem adição de fósforo (0 mg P dm^{-3}) já usufruía de uma concentração maior desse elemento na solução do solo ($5,6 \text{ mg P dm}^{-3}$), quando comparado ao LVA ($1,9 \text{ mg P dm}^{-3}$).

O crescimento radicular foi favorecido sob condições de baixas doses de fósforo (50 mg P dm^{-3}). Para Sant'ana et al. (2003), as raízes das plantas se desenvolvem bem em condições de deficiência de fósforo no solo devido a uma estratégia de extrair o máximo do nutriente e explorar o solo com mais eficiência.

Pypers et al. (2006) trabalhando com guandu (*Cajanus cajan* L.) em quatro solos com ampla diferença no FCP, observaram que o aumento na absorção de fósforo foi inicialmente devido a um aumento no crescimento da raiz, ao mesmo tempo em que, em aplicações elevadas de fósforo, o aumento na absorção do elemento pelo guandu, foi devido a um aumento no influxo de fósforo por unidade de comprimento de raiz.

Com o aumento das doses de fósforo no solo, a relação raiz / parte aérea foi diminuindo, apresentando um comportamento quadrático decrescente, indicando que em condições de baixa disponibilidade de P, a planta destina maiores quantidades de energia e nutrientes, para o sistema radicular em relação à parte aérea (Figura 5).

De Paula et al. (2003) trabalhando com dezoito famílias de meio-irmão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetidas a três doses de fósforo, obtiveram comportamento semelhante, ou seja, diminuição da relação raiz / parte aérea com o aumento das doses de fósforo, como sendo uma estratégia da planta para retirar o máximo do elemento do solo, em condições de baixa disponibilidade com aumento da superfície de absorção da raiz.

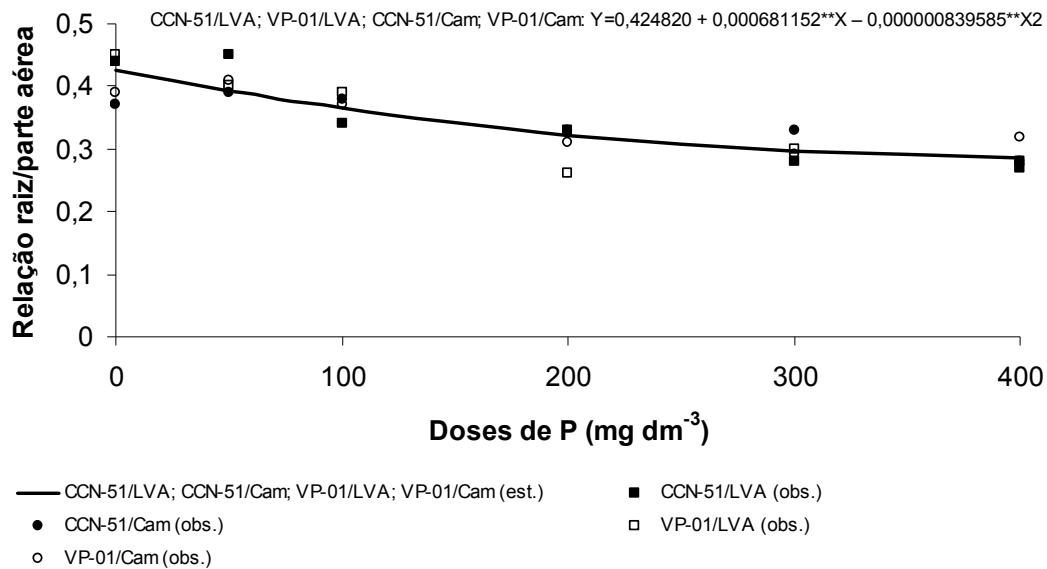


Figura 5. Relação raiz/parte aérea (RRPA) do cacaueteiro em função das doses de P aplicadas.

Estatisticamente, através do teste de identidade de modelos utilizando variáveis binárias, observou-se que na relação raiz / parte aérea não houve diferença entre genótipos e entre solos, indicando comportamento semelhante entre eles através da equação de regressão com $R^2 = 0,78$ (Figura 5).

Uma alta relação raiz / parte aérea pode ser benéfica em condições de baixo nível de fertilidade do solo, pois haverá maior área de raiz para suprir as necessidades da planta, como observado para os dois genótipos estudados.

Vários autores têm observado que o aumento da disponibilidade de fósforo no solo reduz a relação raiz / parte aérea, em virtude de maiores aumentos na produção de massa seca da parte aérea do que na raiz (Furlani e Usberti Filho, 1990; Martinez et al., 1993).

Cabala-Rosand e Santana (1988) trabalhando com diferentes fertilizantes fosfatados e diferentes doses de fósforo em cacaueteiro, em três tipos de solo, observaram que as produções de massa seca da parte aérea apresentaram diferenças entre solos.

Com o aumento das doses de fósforo houve uma queda na produção de biomassa do cacaueteiro (Figura 4). Essa queda, no mais alto nível de P (400 mg dm⁻³), pode estar associada à toxicidade causada pelo fósforo, corroborando com Furtini Neto et al. (1996), que trabalhando com quatro doses de fósforo em mudas

de *Eucalyptus*, observaram que nas doses mais elevadas de P, acima de 300 mg P dm⁻³, as plantas apresentavam uma queda da massa seca.

As plantas presentes na dose 50 mg P dm⁻³, obtiveram um aumento em relação à dose 0 mg P dm⁻³ no incremento de massa seca total de 11 e 23 % para o VP-01 presente no LVA e no Cam, respectivamente. Já o CCN-51 para ambos os solos, apresentou um acréscimo de 16 % quando submetido à dose 50 mg P dm⁻³ comparado à baixa disponibilidade de fósforo no solo (0 mg dm⁻³). Apesar do VP-01 estar presente no Cam com maior disponibilidade de fósforo na solução, ele mostrou um maior incremento quando submetido à dose 50 mg P dm⁻³, quando presente no LVA.

Pelas equações de regressão, verificou-se que as doses de fósforo aplicadas que corresponderam a 90 % da produção máxima da massa seca do CCN-51 e VP-01 foram em torno de 33,39 a 122,94 mg dm⁻³ no Cam e LVA, respectivamente, indicando que as plantas presentes no Cam apresentaram uma maior diferença de 42,7 e 45,8 % na produção relativa para o CCN-51 e VP-01, respectivamente.

As plantas presentes no Cam necessitam de uma menor quantidade de adubo fosfatado para alcançar 90 % da sua produtividade e os teores críticos de P no solo e na folha foram menores no LVA (1,17 g kg⁻¹), devido à menor disponibilidade de fósforo presente nesse solo que apresentou menor P-remanescente (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de massa seca total, produção relativa, doses de P, teores críticos de P no solo e na planta que corresponde a 90 % da produção máxima estimada do CCN-51 e VP-01 cultivados no LVA e Cam

| Genótipo/Solo | Produção Relativa | 90 % da prod. máx. | Doses P 90 % da prod. máx. | Teores de P solo | Teores de P foliar |
|---------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|
| | (%) | (g planta ⁻¹) | (mg dm ⁻³) | (mg dm ⁻³) | (g kg ⁻¹) |
| CCN-51/LVA | 57,30 | 17,94 | 122,94 | 20,82 | 1,17 |
| CCN/51/Cam | 100 | 31,63 | 41,20 | 23,33 | 1,57 |
| VP-01/LVA | 51,83 | 16,40 | 122,93 | 20,82 | 1,17 |
| VP-01/Cam | 97,70 | 30,81 | 33,39 | 20,29 | 1,44 |

No LVA, o nível crítico de fósforo na folha em ambos os genótipos, ou seja, concentração abaixo da qual a taxa de crescimento, a produção ou a

qualidade é significativamente reduzida, foi de 1,17 g kg⁻¹, enquanto no Cam esse valor foi de 1,57 e 1,44 g kg⁻¹ para o CCN-51 e o VP-01, respectivamente. O teor de P na folha adequado para o cacaueteiro está em torno de 1,8 – 2,5 g kg⁻¹ (Bataglia e Santos, 2001; Sodré et al., 2001).

O nível crítico de P no solo mostrou comportamento similar em ambos os genótipos no LVA, isto é, o valor do nível crítico muito baixo de P-solução é compatível com menor P-remanescente e maior FCP (Tabela 2). Neste caso, observa-se que o nível crítico do P no solo, que proporciona 90 % da máxima produtividade econômica de massa seca total, varia com o tipo de solo e a espécie avaliada (Resende et al., 2000), teor de umidade, textura e FCP (Novais e Smith, 1999).

Observou-se então que, quanto menor o P-remanescente do solo, menor foi a quantidade de fósforo acumulada na folha do cacaueteiro cultivado em solos com teor de fósforo disponível correspondente ao nível crítico (condição de disponibilidade de fósforo no solo para que ocorra um crescimento das plantas correspondente a 90 % da produção máxima estimada).

As variações nas concentrações críticas de fósforo na folha parecem estar relacionadas ao menor e maior acúmulo de fósforo de reserva no vacúolo da planta, principalmente fósforo inorgânico (Pi) sem funções metabólicas imediatas nas células dos tecidos, em maiores e menores condições de FCP no solo (Fernandes et al., 2000).

Conteúdo e eficiência de fósforo na planta

Observou-se através da análise de variância que não houve diferença significativa na interação tripla (genótipos x doses x solos) para conteúdo de fósforo na parte aérea, raiz e planta total, bem como na eficiência de absorção, translocação e utilização de P pelo cacaueteiro (Tabela 4A).

As equações de regressão para as variáveis, conteúdo de fósforo na parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (raiz + parte aérea) (PPT) (Figuras 6, 8 e 9), e teor de fósforo na folha (PF) (Figura 7) apresentaram comportamento quadrático, exceto para (PF) e, não diferiram estatisticamente, pelo teste de identidade de modelos, utilizando variáveis binárias (*Dummy*), para ambos os genótipos (CCN-51 e VP-01) nas plantas cultivadas no LVA, com R² de 0,96 para PPA e PPT, 0,93 para PRA e 0,97 para PF.

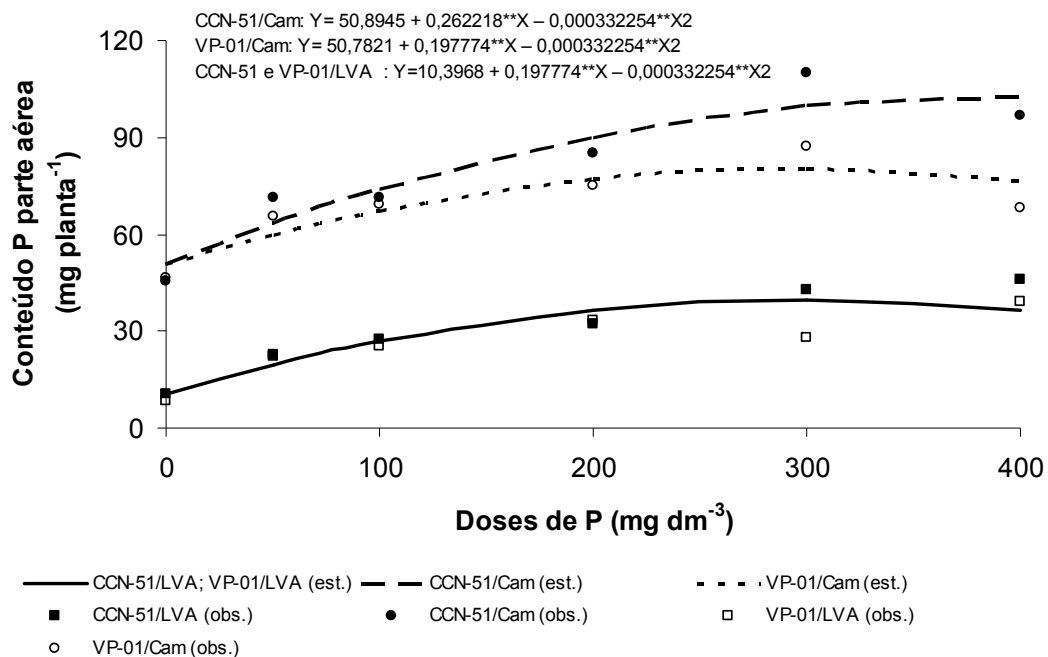


Figura 6. Conteúdo de P na parte aérea (PPA) pelo cacaueteiro no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas.

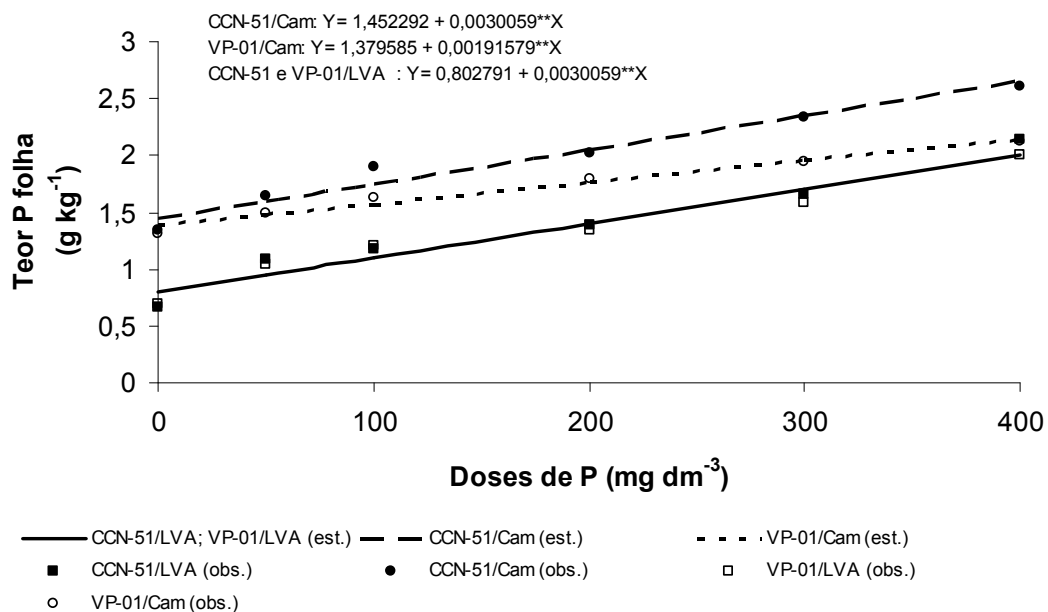


Figura 7. Teor de fósforo na folha (PF) pelo cacaueteiro no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas.

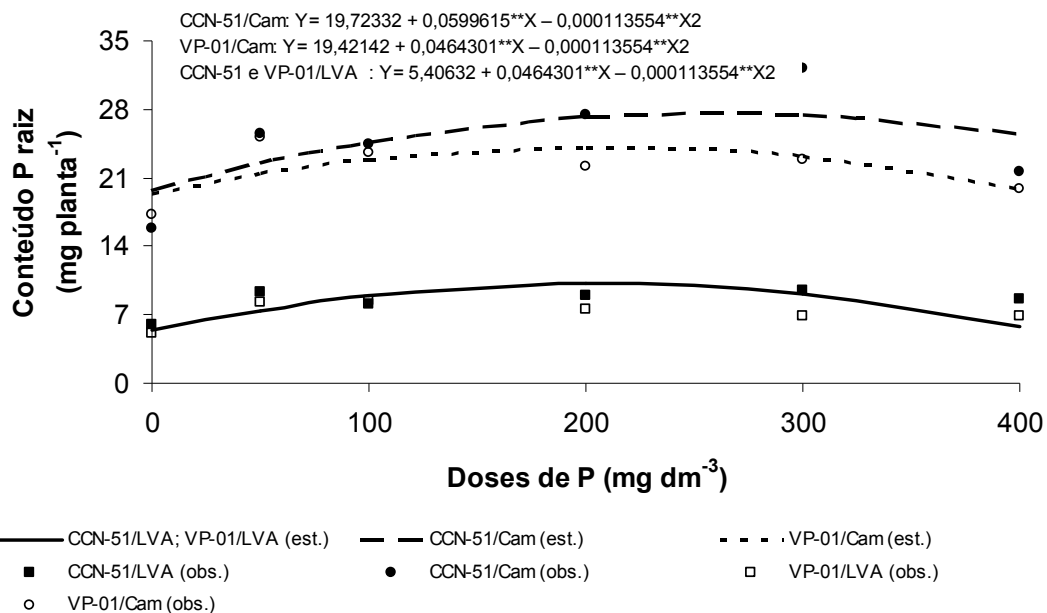


Figura 8. Conteúdo de P na raiz (PRA) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas.

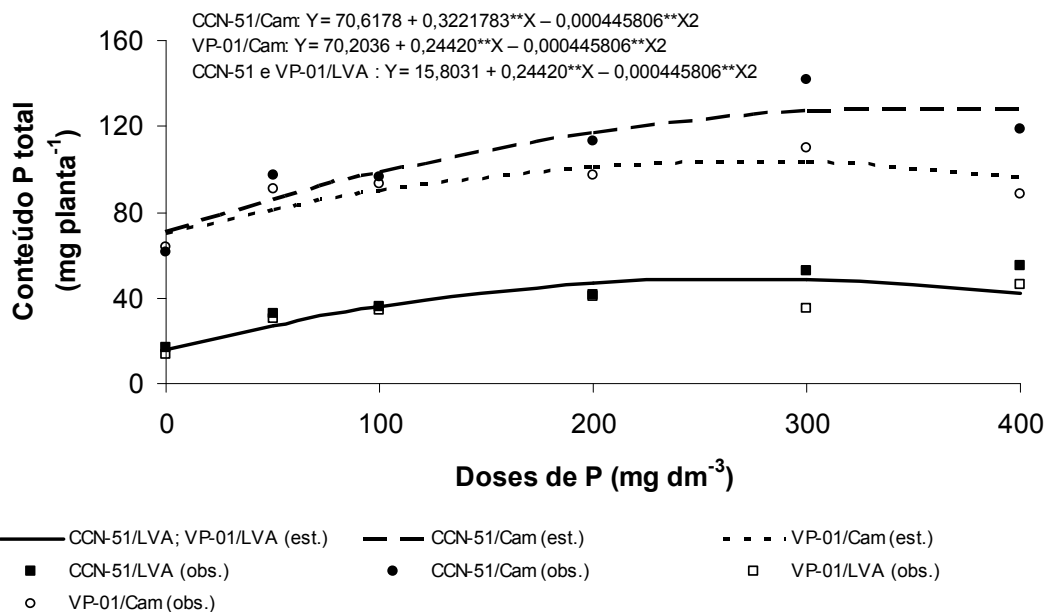


Figura 9. Conteúdo de P na planta (PPT) pelo cacauero no LVA e Cam em função das doses de P aplicadas.

Devido ao menor FCP com o maior teor de P-remanescente na solução do solo (Tabela 5A), o Cam proporcionou maiores concentrações de fósforo em solução com conseqüente maior aproveitamento do elemento pelo cacauero.

Independente do genótipo, as plantas quando desenvolvidas no LVA, solo mais tamponado em fósforo, tenderam a acumular menor quantidade do elemento, por massa seca da parte aérea, teor de fósforo na folha, conteúdo de P na raiz e planta total (Figuras 6, 7, 8 e 9), em comparação ao Cam.

No momento do transplante (30 dias após a germinação), as plantas carregaram o cotilédone que apresentaram em média 7,15 e 5,03 mg de fósforo por cotilédone. Após a queda do cotilédone, em torno de 50 a 60 dias, os mesmos apresentaram um acúmulo de fósforo médio de 0,68 e 0,52 mg fósforo por cotilédone no CCN-51 e VP-01, respectivamente. Sendo assim, observou-se que o CCN-51 e o VP-01 obtiveram um aproveitamento desse fósforo de 6,47 e 4,51 mg por cotilédone, respectivamente, tendo o CCN-51, um maior acúmulo de fósforo proveniente da sua reserva.

O maior conteúdo de fósforo na parte aérea ocorreu na dose 300 mg P dm^{-3} quando desenvolvidos no Cam (Figura 6), tendo um aumento respectivo de 142 e 88 % para o CCN-51 e o VP-01 com relação à baixa disponibilidade do elemento no solo (0 mg P dm^{-3}). Quando desenvolvido no LVA, o conteúdo do fósforo foi reduzido.

Para o CCN-51 e VP-01, em ambos os solos, o teor de fósforo foliar aumentou linearmente (Figura 7), com o aumento da disponibilidade do elemento, ocorrendo principalmente um incremento do fósforo na folha, resultando em um maior acúmulo de fósforo na parte aérea da planta. Aliado a isso, observou-se que no cambissolo (> P-remanescente), esse teor foi maior que o teor de fósforo nas plantas desenvolvidas no latossolo (< P-remanescente).

Bedin et al. (2003) relacionam os teores foliares com o FCP do solo. Para esses autores, a presença de menores quantidades de argila no solo, proporciona concentrações de P em solução mais elevada (< FCP com > P-remanescente), incrementando o influxo do nutriente e contribuindo para maiores concentrações foliares.

Observou-se que, em menores doses de fósforo aplicado no solo, o conteúdo de fósforo na parte aérea, raiz e planta total foram menores, porém nestas condições, a biomassa foi maior. Para as condições deste estudo, é possível que as baixas concentrações de fósforo favorecessem a conversão em biomassa e, à medida que aumentou a concentração do elemento no solo, o que a planta absorveu pode ter sido armazenado no vacúolo como reserva. Para

Bieleski (1973), em condições de maior disponibilidade de fósforo, ocorreu acúmulo do mesmo na forma inorgânica (Pi), nos vacúolos.

Na baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm^{-3}), comparando os dois solos como substratos (Cam e LVA), observou-se que o CCN-51 e o VP-01 apresentaram respectivamente, um aumento de 163 e 236 % no conteúdo de fósforo no sistema radicular no Cam (Figura 8). Isto pode ser devido ao fato desse solo apresentar uma maior disponibilidade de fósforo inicial, o que pode ter contribuído para um maior acúmulo do elemento na planta.

O conteúdo de fósforo na planta total do CCN-51 e VP-01 foi estatisticamente igual no LVA, porém no Cam, o CCN-51 apresentou maior quantidade de fósforo na planta (Figura 9), que pode estar relacionado com a maior área radicular apresentada por esse genótipo como mostra a Figura 3.

Cabala-Rosand e Mariano (1985) verificaram uma estreita associação entre conteúdo de fósforo na planta de cacaueteiro e área radicular, indicando que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular.

Em geral, a recuperação de fósforo do solo pelas plantas foi maior no LVA quando comparado ao Cam (Tabela 3), porém, quando presente no LVA o VP-01 apresentou maior recuperação de fósforo que o CCN-51, até a dose 300 mg P dm^{-3} . Já no Cam, o CCN-51 apresentou maior recuperação de fósforo que o VP-01 na presença de todas as doses de fósforo. Na dose 50 mg P dm^{-3} , essa recuperação do CCN-51 foi de 76 e 54 % no Cam e LVA, respectivamente, enquanto do VP-01 foi de 54 % em ambos os solos.

Em geral, a retirada pelas plantas do fósforo aplicado ao solo foi menor que 10 %, corroborando com Furtini Neto et al., (1996), pois na fase jovem, as plantas requerem menos fósforo, quando comparado na fase de frutificação.

Tabela 3. Recuperação de fósforo por plantas de cacaueteiro presentes no LVA e Cam, submetidas a doses do nutriente.

| Genótipo (solo) | Doses de P (mg dm^{-3}) | | | | |
|--------------------|------------------------------------|------|------|------|------|
| | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| |%..... | | | | |
| CCN-51 (LVA) | 2,25 | 1,26 | 0,65 | 0,66 | 0,44 |
| CCN-51 (Cam) | 1,70 | 0,83 | 0,56 | 0,57 | 0,39 |
| VP-01 (LVA) | 2,40 | 1,37 | 0,71 | 0,40 | 0,37 |
| VP-01 (Cam) | 1,30 | 0,70 | 0,36 | 0,32 | 0,17 |

Nas doses mais altas de fósforo no solo, ocorreu uma diminuição do P-recuperado pelas plantas (Tabela 3). Schenk e Barber, (1979) atribuíram a baixa recuperação do fósforo pela planta, a baixa difusão do elemento no solo, dificultando seu alcance pelas raízes da planta.

De acordo com a Tabela 4, observa-se que a menor concentração de fósforo disponível no solo, após a colheita das plantas aos 180 dias, foi no LVA, que apresentou menor P-remanescente (> FCP), quando comparado ao Cam. No Cam, até a dose 200 mg P dm⁻³, maior fósforo disponível no solo foi observado no VP-01 quando comparado ao CCN-51.

Tabela 4. Teor médio de fósforo disponível no solo, 180 após a colheita das plantas

| Genótipo (solo) | Doses de P (mg dm ⁻³) | | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 0 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| |mg dm ⁻³ | | | | | |
| CCN-51 (LVA) | 1,56 | 5,54 | 11,53 | 30,65 | 46,43 | 81,12 |
| CCN-51 (Cam) | 6,34 | 12,43 | 28,46 | 55,87 | 123,99 | 145,74 |
| VP-01 (LVA) | 1,53 | 2,11 | 13,82 | 29,83 | 46,18 | 81,6 |
| VP-01 (Cam) | 6,75 | 12,92 | 29,83 | 59,68 | 77,58 | 128,34 |

Com aplicação de fósforo no solo, os dados de eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo pelas plantas, apresentaram comportamento quadrático (Figuras 10, 11, 12 e 13).

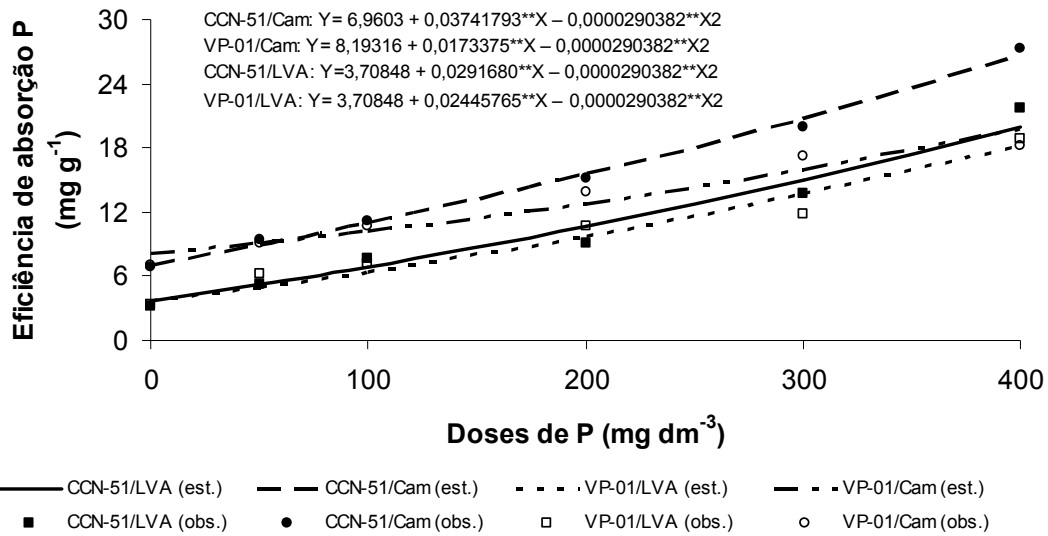


Figura 10. Eficiência de absorção de fósforo pelo cacauero ($mg\ g^{-1}$) com base na massa seca da raiz em função das doses do nutriente aplicadas.

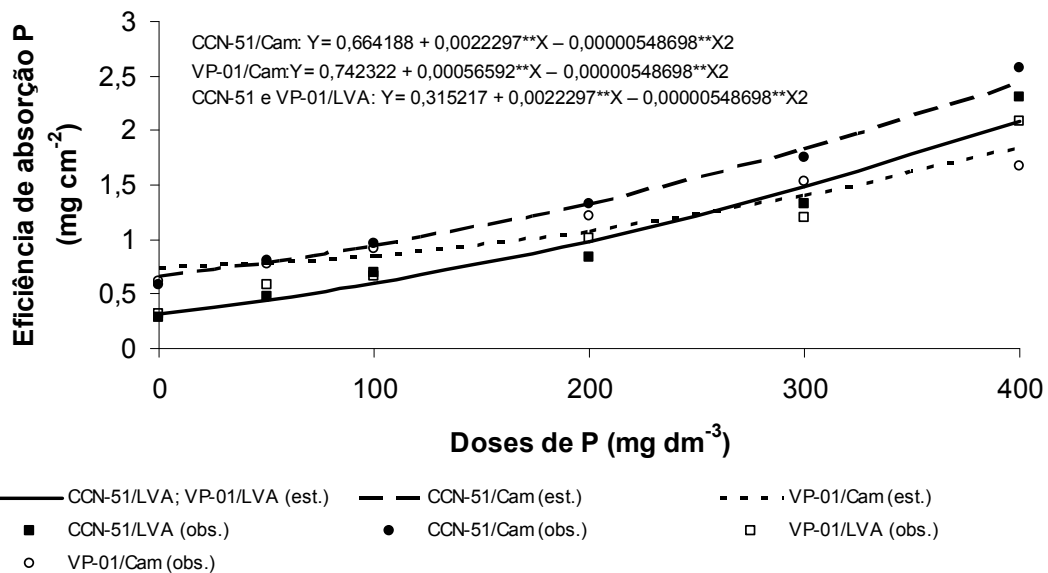


Figura 11. Eficiência de absorção de fósforo pelo cacauero ($mg\ cm^{-2}$) com base na área radicular em função das doses do nutriente aplicadas.

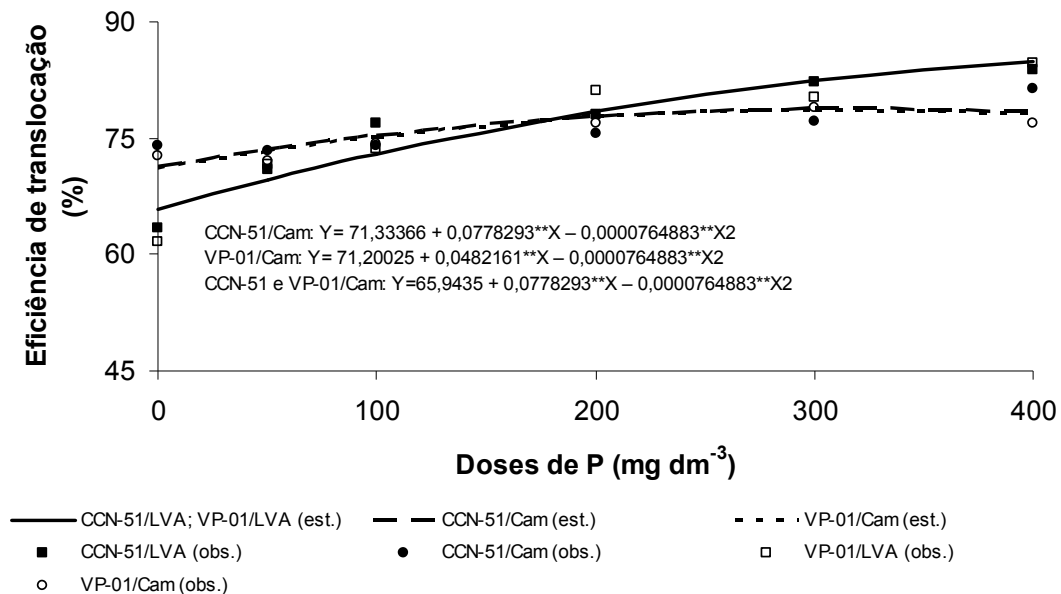


Figura 12. Eficiência de translocação de fósforo pelo cacaueteiro (%) em função das doses do nutriente aplicadas.

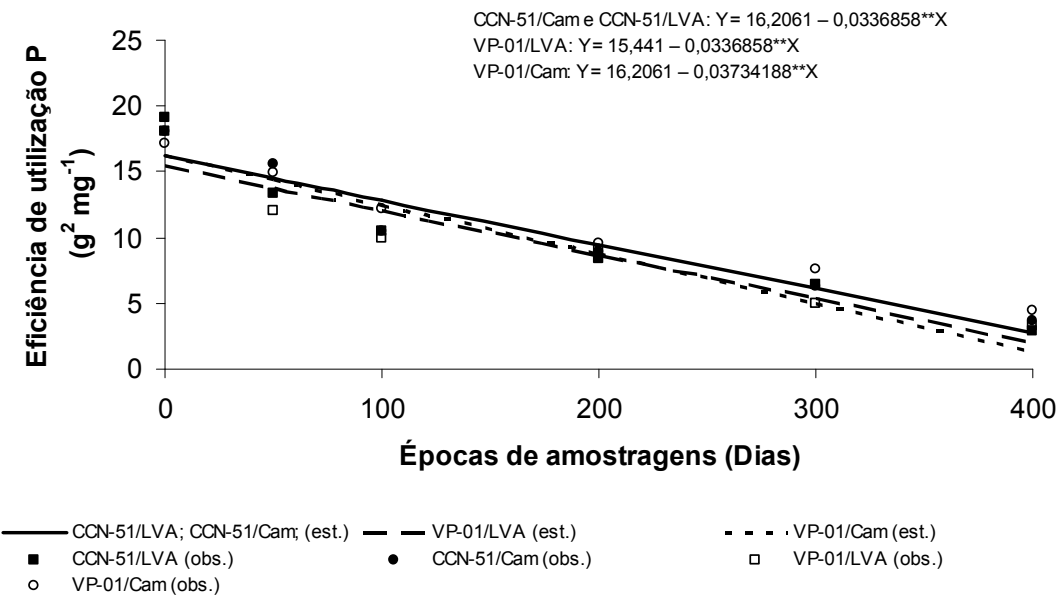


Figura 13. Eficiência de utilização de fósforo pelo cacaueteiro ($g^2 mg^{-1}$) em função das doses do nutriente aplicadas.

De acordo com o teste de identidade de modelo utilizando as variáveis binárias *Dummy*, a eficiência de absorção de fósforo com base na massa seca da raiz, com $R^2 = 0,97$, o CCN-51 e o VP-01 em ambos os solos, apresentaram comportamento diferente, porém na eficiência de absorção de fósforo com base

na área radicular ($R^2= 0,96$) e na eficiência de translocação de fósforo ($R^2= 0,87$), o CCN-51 e o VP-01 ambos no LVA, apresentaram estatisticamente comportamento semelhante, sendo representado por uma única equação de regressão.

Em condições de menor disponibilidade de fósforo no solo (0 mg P dm^{-3}), o VP-01 foi mais eficiente em absorver o P da solução do solo, porém, na dose ($61,39 \text{ mg P dm}^{-3}$) ambos os genótipos apresentaram a mesma eficiência de absorção no cambissolo e, a partir desse ponto, com o aumento das doses de P o CCN-51 foi mais eficiente (Figura 10).

Na eficiência de absorção de fósforo com base na área radicular, o CCN-51 e o VP-01 presentes no Cam, foram semelhantes na dose $46,96 \text{ mg P dm}^{-3}$. Quando cultivados no LVA, o CCN-51 e o VP-01 apresentaram comportamento semelhante. Observou-se também que com o aumento das doses de P no solo, houve acréscimo da eficiência de absorção de P pela raiz da planta (Figura 11).

Dechassa et al. (2003) atribuem que a maior eficiência de absorção de P pode estar associada com a alta absorção de P por unidade de comprimento da raiz ou com uma alta relação raiz / parte aérea. Por outro lado, Cabala-Rosand e Mariano (1985), trabalhando com eficiência de absorção de P por diferentes cultivares de cacau, verificaram uma estreita associação entre conteúdo de fósforo na planta e as variáveis comprimento e área de superfície de raízes, indicando assim, que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular.

Dentre os mecanismos envolvidos na absorção estão a dinâmica de crescimento da planta, características do sistema radicular, afinidade íon-carregador e transformações químicas que ocorrem na interface solo-raiz (Föshe et al., 1991).

Nas menores doses de fósforo, as plantas presentes no cambissolo foram mais eficientes em translocar o fósforo para a parte aérea (Figura 12). A eficiência de translocação de P da raiz para a parte aérea está relacionada com a alta afinidade dos transportadores presentes na planta, principalmente sob condições de baixa disponibilidade de P na solução do solo (Shenoy e Kalagudi, 2005).

É interessante observar que as plantas cultivadas no solo com maior P-remanescente ($< \text{FCP}$), sob baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm^{-3}), translocaram elevadas proporções de nutrientes absorvidas das raízes para a

parte aérea e mantiveram essa translocação em percentuais constantes, mesmo sob alto suprimento de P, se comparado com as plantas no LVA, que apresentaram uma maior declividade com o aumento do fornecimento do nutriente (Figura 12).

A eficiência de utilização de fósforo decresceu com o aumento da dose de fósforo (Figura 13), diminuindo até o ponto em que o fósforo absorvido deixou de ser ou foi menos convertido em biomassa. Isso pode ser verificado no comportamento quadrático da produção de massa seca total do CCN-51 e VP-01. Este último apresentou crescimento, em média de (80 mg dm^{-3}) (Tabela 2).

Resende et al. (2000) trabalhando com cinco doses de P (0, 100, 250, 500 e 800 mg dm^{-3}) e nove espécies florestais arbóreas, observaram que as espécies, aroeira, aroeirinha e jacaré mostraram comportamento oposto ao sabiá e sesbânia, apesar de pertencerem ao mesmo grupo ecológico. A aroeira, aroeirinha e jacaré foram mais eficientes na utilização de P com o aumento das doses, que sabiá e sesbânia. Tal fato pode ser interpretado como uma relação diferencial da absorção do P e produção de massa seca, com o fornecimento de fósforo. Usualmente, a eficiência de utilização diminui com o aumento da disponibilidade do nutriente, como pode ser observado na Figura 13.

Em condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo, a eficiência de absorção foi baixa (Figuras 10 e 11), porém o suficiente para tornar as plantas eficientes (Figura 13).

Plantas na presença de baixo fornecimento de fósforo tende a reter maior quantidade do nutriente nas raízes ao invés de transportá-lo para a parte aérea. Sendo assim, o desenvolvimento da parte aérea pode ficar limitado, pois o P tende a ficar armazenado na raiz a fim de suprir as suas necessidades.

Na eficiência de utilização de fósforo ($R^2 = 0,78$), o CCN-51 não diferiu quando desenvolvido no LVA e no Cam, ou seja, para esse genótipo, o solo não interferiu na eficiência de utilização de P (Figura 13).

A maior eficiência de utilização de fósforo foi observada em *Eucalyptus salina* Smith e *E. dunnii* (Maid), por Schumacher (1995) citado por Moura et al. (2006), e em três procedências de *Acacia mearnsii* De Wild., por Caldeira et al. (2002).

Observou-se que, com o aumento das doses de fósforo no solo, ocorreu um aumento da eficiência de absorção e uma diminuição da eficiência de

utilização, ou seja, mesmo aumentando a eficiência de absorção com aumento no fornecimento de fósforo para as plantas, a conversão desse elemento em biomassa, nessas condições, tende a ser baixa, reduzindo a eficiência das plantas em utilizar o elemento.

Luca et al. (2002) trabalhando com eucalipto, observaram que plantas que crescem em regiões de solos pobres em fósforo, parecem ser pouco eficientes na absorção de fósforo, mas muito eficientes na sua utilização.

Quando se tem alta produção de massa seca mesmo sob menor concentração de fósforo no tecido, resulta em menor acumulação de fósforo, ou seja, mesmo sob baixas concentrações do nutriente nos tecidos, as plantas de cacauero mostraram boa eficiência de conversão do nutriente em biomassa. Esse resultado condiz com os de Furtini Neto et al. (1996), segundo o qual a eficiência de utilização de fósforo mostrou ser um bom parâmetro para explicar a produção de massa seca para *Eucalyptus*.

CONCLUSÕES

- 1- Houve diferença de resposta ao fósforo entre os genótipos CCN-51 e o VP-01 e entre os solos, LVA e Cam;
- 2- O maior P-remanescente presente no Cam favoreceu maior acúmulo de fósforo no cacauero;
- 3- O nível crítico no solo e na folha variou com o tipo de solo e genótipo;
- 4- O aumento das doses de P favoreceu a maior eficiência de absorção de P pelas raízes de CCN-51 e VP-01, em ambos os solos;
- 5- O CCN-51 e o VP-01 foram mais eficientes em translocar o fósforo para a parte aérea quando presentes no Cam com maior P-remanescente;
- 6- Houve redução da eficiência de utilização de P pelos genótipos estudados, com adição de doses de fósforo no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Dias, L. E., Oliveira, J. A. 2000. *Determinação e uso do fósforo remanescente*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25 (1): 27-33 (Boletim Informativo).

Araújo, A. P. (2000) Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. *In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:163-212.

Bataglia, O. C., Santos, W. R. (2001) Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. *Informações agrônomicas*, Piracicaba, 96:1-8.

Bedin, I.; Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V.; Faquin, V.; Tokura, A. M., Santos, J. Z. L. (2003) Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 639-646.

Bieleski, R. L. (1973) Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24: 225-252.

Braga, J. M., De Felipo, B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*. 21:73-85.

Cabala-Rosand, P., Santana, M. B. M. (1988) Eficiência de fosfatos para a cultura do cacau. *In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM CACAO*, 10, São Domingo, Republica Dominicana, 1988. Lagos, Nigéria, Aliança dos Países Produtores de Cacau, Lagos, Nigéria, p. 239-246.

Cabala-Rosand, P., Mariano, A. H. (1985) Absorção diferencial de fósforo em cultivares de Cacau. *Pesq. Agropec. Bras.*. 20 (2):159-167.

Cabala-Rosand, P., Santana, C. J. L., Miranda, E. R. (1982) Respostas de Cacaueiros "Catongo" a Doses de Fertilizantes no Sul da Bahia, Brasil. *R. Theobroma*, 12 (4):203-216.

Caldeira, M. V. W.; Rondon Neto R. M., Schumacher, M. V. (2002) Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *R. Árvore*, Viçosa, 26 (5): 615-620.

Dechassa, N.; Schenk, M. K.; Claassen, N., Steingrobe, B. (2003) Phosphorus Efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. Var. Capitata), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Plant Soil*, 250: 215-224.

De Paula, R. C.; De Paula, N. F.; Valeri, S. V.; Cruz, M. C. P., Tolfo, A. L. T. (2003) Controle genético da eficiência de utilização de fósforo em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação. *R. Árvore*, 27(1): 25-34.

Draper, N., Smith, H. (1966) *Applied regression analysis*. New York: John Willey e Sons, 407p.

Fernandes, A. R.; Carvalho, J. G., Melo, P. C. (2003) Efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudas do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.). *Cerne*, 9(2): 221-230.

Fernandes, L. A.; Furtini Neto, A. E.; Fonseca, F. C., Vale, F. R. (2000). Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 35(6): 1191-1198.

Föshe, D.; Claassen, N., Jungk, A. (1991). Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*, 132:261- 272.

Furlani, A. M. C., Usberti Filho, J. A. (1990) Capim colônia: eficiência na absorção e na utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, 49 (2): 413-423.

Furtini Neto, A. E.; Barros, N. F.; Godoy, M. F., Novais, R. F. (1996) Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. *R. Árvore*, 20(1):17-28.

Gomes, J. M., Braga, J. M. F. (1992) *SAEG*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 100p.

Li, X. L.; George, E., Marschner, H. (1991) Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant Soil*, 136: 41-48.

Luca, E. F.; Boaretto, A. E.; Muraoka, T., Chitolina, J. C. (2002) Eficiência de absorção e utilização de fósforo (^{32}P) por mudas de eucalipto e arroz. *Sci. Agricola*, 59 (3):543- 547.

Martinez, H. E. P.; Novais, R. F.; Rodrigues, L. A., Sacramento, L. V. S. (1993) Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 17: 231- 238.

Morais, F. I. O.; Santana, C. J. L., Santana, M. B. M. (1978) Efeito da aplicação de calcário e fósforo no crescimento de plantas de cacau em casa de vegetação. *R. Theobroma*, Brasil, 8: 73-85.

Moura, O. N.; Passos, M. A. A.; Ferreira, R. L. C.; Gonzaga, S.; Lira, M. A., Cunha, M. V. (2006) Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpinifolia* Benth. *R. Bras. Ci. Agrárias*, 1: 23-29.

Novais, R. F., Smith, T. J. (1999) *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: DPS/UFV, 399p.

Pires, J. L. (2003) *Avaliação quantitativa e molecular de germoplasma para o melhoramento do cacau com ênfase na produtividade, qualidade de frutos e resistência a doenças*. (Tese de Doutorado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa.

Pypers, P.; Delrue, J.; Diels, J.; Smolders, E., Merckx, R. (2006) Phosphorus intensity determines short-term P uptake by pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) grown in soils with differing P buffering capacity. *Plant Soil*. 284: 217-227.

Raghothama, K. G., Karthikeyan, A. S. Phosphate acquisition. *Plant Soil*, v. 274, p. 37-49, 2005.

Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N.; Muniz, J. A., Faria, M. R. (2000) Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de

diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 24 (1):160-173.

Santana, M. B. M., Santana, C. J. L. (1979). Normas para orientação de adubação do cacauzeiro na Bahia. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EM CACAO, 7, Douala Cameroun, 1979. p 223-233.

Sant'ana, E. P.; Sant'ana, E. V. P.; Fageria, N. K., Freire, A. B. (2003). Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea da planta de arroz. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 27(2): 370-381.

Schenk, M. K., Barber, S. A. (1979) Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43: 880-883.

Siddiqi, M. Y., Glass, A. D. M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutrition*. 4(3): 289-302.

Shenoy, V. V., Kalagudi, G. M. (2005) Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnol. Adv.*, 23: 501-513.

Sodré, G. A.; Marrocos, P. C. L.; Chepote, R. E., Pacheco, R. G. (2001) Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho da amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotrópica*, 13 (3):145-150.

Souza, C. A. S.; Corrêa, F. L. de O., Carvalho, J. G. de. (1997) Crescimento de mudas de cacauzeiro: efeito do fósforo e do zinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, p. 417.

Swiader, J. M.; Chyan, Y., Freiji, F. G. (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nut.* 17:1687-1699.

3.2. EFICIÊNCIA DE USO DE FÓSFORO EM DIFERENTES GENÓTIPOS DE CACAUEIRO (*Theobroma cacao* L.)

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a eficiência na absorção, transporte e utilização de fósforo em cinco genótipos de cacau cultivados em um Latossolo Vermelho-Amarelo instalou-se um experimento no viveiro da Mars Centro de Ciência do Cacau, Barro Preto, Bahia. Foram utilizadas plantas provenientes de sementes produzidas por polinização manual controlada do cruzamento de quatro clones e o “Catongo”, sendo que no cruzamento, o “Catongo” foi usado como o pai e o CCN-51; COCA 3370/5; LCTEEN-37A e AMAZ-15 como as mães. As plantas cultivadas em vasos plásticos com cinco dm³ de volume receberam duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm⁻³). As avaliações foram feitas por amostragem aos 0; 60; 120; 180 e 240 dias após o transplante. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 x 5 com 7 repetições, totalizando 350 unidades experimentais. O P foi dosado por espectrofotometria, e os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando-se equações de regressão em função das concentrações de P aplicadas no solo e aplicando-se o teste de identidade de modelo (*Dummy*) para as variáveis qualitativas (doses de fósforo e genótipos de cacau). A produção de massa seca da parte aérea, raiz e planta total foram superiores na dose 80 mg P dm⁻³ comparado à baixa disponibilidade de P (0 mg dm⁻³). O LCTEEN-37A x Catongo foi o que apresentou, na baixa dose

de P (0 mg dm^{-3}), melhor desenvolvimento de área foliar aos 240 dias após o transplante. Nessa mesma época, o AMAZ-15 x Catongo apresentou maior área de raiz na baixa disponibilidade de P. O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo com maior taxa de crescimento relativo (TCR) nas duas doses de P. Em ambas as doses, o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior acumulação de fósforo na parte aérea e planta total em relação aos genótipos avaliados aos 120 e 150 dias após o transplante. O CCN-51 x Catongo inicialmente apresentou maior taxa de influxo, reduzindo em torno de 15 dias quando submetido à dose 0 mg P dm^{-3} e 45 dias na dose 80 mg P dm^{-3} . Em geral, todos os genótipos mostraram maior translocação de fósforo com o aumento da concentração deste elemento no solo. Os genótipos eficientes e responsivos ao fósforo foram o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, não sendo influenciados pelas características do Catongo que foi considerado não eficiente e não responsivo.

ABSTRACT

This study evaluated five genotypes of cocoa tree as the efficiency in the absorption, transport and use of phosphorus from the Red-Yellow Latossoil from South of Bahia. The experiment was developed in the greenhouse at the Mars Center of Cocoa Science, Barro Preto, Bahia. It was used genotypes of cocoa trees from seeds produced by manual pollination crossing five cocoa tree clones, and in the crossing, the "Catongo", considered the father and CCN-51; COCA 3370/5; LCTEEN-37A and AMAZ-15 as the mothers of the genotypes. Those genotypes were submitted to the two phosphorus doses (0 and 80 mg dm^{-3}), being evaluated in five times of samplings (0 ; 60 ; 120 ; 180 and 240 days after the transplant), in the random block design factorial $5 \times 2 \times 5$ with 7 replications, totaling 350 experimental units. The P was quantified by spectrophotometer, and the data were submitted to the variance analysis, it was adjusted regression equations about P concentrations applied in the soil and the test of model identity (*Dummy*) to the qualitative variables (phosphorus doses and cocoa tree genotypes). According to results, the production of dry mass of the aerial part, root and plant total were higher in the 80 mg dm^{-3} P dose compared to the low

available P (0 mg dm^{-3}). In the low phosphorus doses (0 mg dm^{-3} of P), the genotype LCTEEN-37A x Catongo presented the better development leaf area in 240 days after the transplant. In that same time, AMAZ-15 x Catongo presented largest root area in low available of P. The LCTEEN-37A x Catongo was the genotype with the highest rate of relative growth (TCR) in the two doses of P. In both doses, the genotypes LCTEEN-37A x Catongo presented larger phosphorus accumulation in the aerial part and total plant in relation to the evaluated genotypes to the 120 and 150 days after the transplant. The CCN-51 x Catongo initially presented larger influx rate, reducing around 15 days when submitted to the dose 0 mg P dm^{-3} and 45 days in the dose 80 mg P dm^{-3} . In general, all of the genotypes showed higher phosphorus translocation with the increase of the concentration of this element in the soil. The efficient and responsive genotypes to the phosphorus were LCTEEN-37A x Catongo and AMAZ-15 x Catongo, but not being influenced by the characteristics of the Catongo; this one was considered no efficient and no responsive.

INTRODUÇÃO

O cacauero (*Theobroma cacao* L.) é cultivado principalmente no Sul da Bahia, ocupando uma área de cerca de 600 mil ha^{-1} . De acordo com Souza e Dias (2001), no Brasil, a cadeia produtiva do cacau envolve, atualmente, investimentos da ordem de 2,3 bilhões de reais, sendo responsável por aproximadamente três milhões de empregos e, destes, algo em torno de 300 mil diretos.

O suprimento natural de fósforo em solos da região cacauera da Bahia é geralmente baixo, sendo freqüentemente necessário o emprego de fertilizantes fosfatados para a obtenção de produções agrícolas compensadoras (Morais et al., 1978), pois a alta capacidade de retenção de fósforo, nestes solos, torna-se uma das principais limitações à produtividade agrícola.

Do ponto de vista nutricional, o cacauero é uma planta exigente em comparação com outros cultivos tropicais de ciclo longo, que aparentemente possuem mecanismo de adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade química.

A eficiência de absorção de fósforo está relacionada à capacidade de absorver maiores quantidades desse nutriente com um mínimo investimento em crescimento radicular, e a eficiência de utilização é a habilidade relativa de produção de biomassa por unidade de P absorvido (Baligar et al., 2001).

A distinta capacidade de absorção de fósforo entre genótipos pode ser causada pela morfologia do sistema radicular (O'toole e Bland, 1987), razão raiz / parte aérea (Smith, 2002), distribuição e raio radicular (Araújo et al., 1998) e eficiência da simbiose com micorrizas (Smith et al., 1992).

Cabala-Rosand e Mariano (1985) trabalhando com diferentes cultivares de cacau na absorção diferencial de fósforo, concluíram que existe uma estreita associação entre absorção de fósforo e extensão do sistema radicular expresso em termos de massa, área ou comprimento das raízes.

Uma nova estratégia seria detectar e possivelmente explorar o uso das diferenças genótípicas em cacau para a eficiência na absorção e utilização do fósforo, adequando a planta ao solo, com a utilização de novos genótipos.

A variabilidade entre espécies e variedades de plantas com relação à capacidade de absorção e utilização de fósforo tem sido demonstrada por muitos autores em diversas culturas. No entanto, para cultivos perenes como o cacau, essas informações são ainda muito escassas.

A seleção de genótipos com alta eficiência na absorção de fósforo pode constituir um importante meio para reduzir os custos com fertilizantes, uma vez que os genótipos eficientes são capazes de crescer e produzir muito bem, mesmo em solos de menor fertilidade, principalmente para fósforo. Isso poderá constituir-se em uma importante estratégia para reduzir os custos de produção de cacau.

Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar cinco genótipos de cacau quanto à eficiência na absorção, transporte e utilização de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo no Sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Implantação do experimento

O experimento foi conduzido no viveiro da Mars Centro de Ciência do Cacau, Barro Preto, Bahia, no período de junho de 2005 a fevereiro de 2006.

Como substrato foi utilizado o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argilo-arenosa com as seguintes características químicas e físicas apresentadas na Tabela 5A.

O solo foi incubado durante 30 dias, utilizando CaCO_3 e MgCO_3 na proporção de 3:1 elevando o pH para 5,7.

Foram utilizadas plantas provenientes de sementes produzidas por polinização manual controlada, sendo que no cruzamento, o “Catongo”, foi usado como pai e o CCN-51; COCA 3370/5; LCTEEN-37A e AMAZ-15 foram usados como mães dos genótipos (Tabela 1).

Tabela 1. Características produtivas dos clones paternos utilizados

| Clones | Origem | Ano de Plantio | Início de produção | Nº de sementes/fruto | Massa semente (g) | Massa planta (g) |
|--------------------|---------|----------------|--------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| CCN-51 | Equador | 1997 | 1999 | 44±11 | 1,62±0,47 | 660,96 |
| COCA 3370/5 | Equador | 1997 | 2000 | 34±7,8 | 1,61±0,32 | 225,05 |
| LCTEEN- 37A | Equador | 1997 | 2000 | 25±12 | 1,60±0,43 | 265,39 |
| AMAZ-15 | Equador | 1997 | 2000 | 34±0,25 | 1,47±0,25 | 220,63 |
| CATONGO | Brasil | 1997 | 1999 | 30±6,5 | 0,86±0,21 | 236,80 |

Os clones utilizados como mães foram selecionados do jardim clonal da Mars Centro de Ciência do Cacau, levando em consideração o nível de resistência à doença vassoura-de-bruxa do cacau. No caso do “Catongo” como pai, a sua escolha foi devido à homozigose para a maioria das características tais como, sementes brancas e cor verde bem clara das folhas novas. Seis meses após a polinização desses clones, os frutos foram colhidos e as sementes foram colocadas para germinar em copos plásticos contendo areia lavada com HCl a 5 % e irrigadas com água desmineralizada por um período de trinta dias.

Trinta dias após a germinação, as plantas foram transplantadas para vasos plásticos contendo cinco dm^3 de solo, sendo cultivada uma planta por vaso.

As plantas foram irrigadas com água desmineralizada a cada dois dias de acordo com o estado de umidade do solo. A água percolada foi recuperada em

pratos plásticos colocados embaixo dos vasos e recolocada nos respectivos vasos a fim de evitar a perda dos nutrientes.

No ato do transplante, foram amostradas sete plantas de cada genótipo com o objetivo de quantificar o peso da massa seca e teor de fósforo nas folhas, caule e raízes para saber quanto de fósforo residual do cotilédone havia na planta.

Foram utilizadas as doses de fósforo 0 e 80 mg dm⁻³ com base no valor médio de 50 % da produção relativa e 90 % da produção máxima de massa seca total, encontrado no experimento anterior com Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Eutrófico e os dois genótipos estudados anteriormente (CCN-51 e VP-01).

O fósforo foi aplicado na forma de soluções de sais p.a. de KH₂PO₄, NH₄H₂PO₄. Os demais nutrientes foram fornecidos em adubação básica, para todos os tratamentos, nas seguintes doses, por dm⁻³ de solo: 100 mg de N e 100 mg de K, sob as formas de soluções de (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃ e de KCl e, 1mL dm⁻³ de micronutrientes de solução nutritiva de Hoagland, modificada para cacau, contendo as seguintes concentrações em μmol L⁻¹: B= 5,5; Cu=0,08; Fe= 12,54; Mn= 1,46; Mo= 0,05 e Zn= 0,46.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 x 5 sendo cinco genótipos de cacauzeiro: CCN-51 x Catongo; LCTEEN-37A x Catongo; COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x Catongo e Catongo (Catongo), duas doses de fósforo: 0 e 80 mg dm⁻³ e cinco épocas de amostragem: 0, 60, 120, 180 e 240 dias após o transplante, com 7 repetições, totalizando 350 unidades experimentais.

Amostragem e análises do material vegetal e solo

A cada época de amostragem, as plantas foram colhidas e lavadas. As raízes foram separadas da parte aérea e destacadas as laterais das pivotantes. A parte aérea foi separada em caule e folhas. As amostras de raízes, folhas e caules foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para o laboratório onde foi efetuada a limpeza com água deionizada. Após estes procedimentos, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 70 °C

até peso constante. Em seguida foi determinada a massa seca e o material foi triturado em moinho (tipo Wiley) com peneira de 20 mesh (0,841mm) para posterior análise química. Simultaneamente, foi coletada amostra do solo de cada vaso para quantificar o teor de fósforo após cada colheita da planta.

Paralelamente ao experimento, foi feito um ensaio de incubação do solo durante o período de 0, 60, 120, 180 e 240 dias, utilizando as mesmas doses de P aplicada no experimento, a fim de quantificar o teor disponível de P no solo (Tabela 2).

Tabela 2. Teor médio de fósforo disponível no solo e recuperado pelo extrator após 60, 120, 180 e 240 dias de incubação no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

| Período de amostragem (Dias) | Doses de P (mg dm ⁻³) | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------|
| | 0 | 80 |
| 0 | 4,1 | 71,2 |
| 60 | 5,8 | 26,0 |
| 120 | 6,8 | 31,0 |
| 180 | 5,9 | 19,0 |
| 240 | 4,5 | 13,0 |

(Extrator Mehlich 1)

O P foi dosado por espectrofotometria, por meio da formação do complexo fósforo-molibdico em meio ácido utilizando a vitamina C como redutor conforme Braga e De Felipo (1974).

Variáveis analisadas

As características avaliadas foram: massa seca da parte aérea (MSPA), em g planta⁻¹ obtida pela soma de massa seca do caule e das folhas, massa seca da raiz (lateral + pivotante) (MSR), em g planta⁻¹, massa seca total (MST), em g planta⁻¹, pela soma da massa seca da raiz e da parte aérea.

A expansão foliar (área foliar) foi estimada usando o modelo matemático $AF = 52,297 * (MFF) + 39,439$, onde MFF = massa fresca da folha.

Para originar este modelo, foi feita uma amostragem de 80 folhas, variando de tamanho, para permitir que a equação possa ser usada para uma ampla faixa de condições. Logo após a coleta, as folhas foram pesadas e levadas

para medir área foliar em um medidor automático “Area Meter”, modelo AAM-S. Com os valores da área e massa fresca da folha, ajustou-se a equação com correlação positiva ($r = 0,94$; $p < 0,05$).

Para cálculo da área da raiz (AR) em cm^2 , foi feita uma amostragem com 30 plantas da mesma idade, em que a área de cada raiz foi medida no medidor automático “Area Meter”, modelo AAM-S e pesada a seguir. Com os dados da área da raiz e a massa fresca da raiz (MFR) em gramas, a equação que melhor se ajustou foi uma linear de primeiro grau: $AR = 12,558 * (MFR) - 7,7577$, com correlação positiva ($r = 0,96$; $p < 0,05$).

Os conteúdos de fósforo na parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (PPL) (raiz + parte aérea), em mg planta^{-1} , foram obtidos multiplicando-se os respectivos valores de massa seca pela concentração de fósforo no tecido.

Com base nos resultados de massa seca acumulada, a taxa de crescimento relativo (TCR) em ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) foi estimada para cada período de amostragem (eq. 1) e, taxa de assimilação líquida (TAL) em ($\text{g cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$), que vem a ser o incremento de massa seca total, por unidade de área foliar, por unidade de tempo (eq. 2), segundo Radford (1967).

$$TCR = (1/MST) * (\partial MST / \partial t) \text{ (eq.1), onde:}$$

MST = Equação ajustada de massa seca total;

$\partial MST / \partial t$ = Derivada da equação de massa seca total em função do tempo.

$$TAL = (1/AF) * (\partial MST / \partial t) \text{ (eq.2), onde:}$$

AF = Equação ajustada de área foliar;

$\partial MST / \partial t$ = Derivada da equação de massa seca total em função do tempo.

Foi determinado o influxo de P ($\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) com base na área radicular dos genótipos de cacauero em estudo, de acordo a equação 3.

$$I_p = (1/AR) * (\partial PPL / \partial t) \text{ (eq.3), onde:}$$

AR = Equação ajustada de área radicular;

$\partial PPL / \partial t$ = Derivada da equação ajustada de conteúdo de P na planta.

Uma vez obtidos os dados de massa seca e os conteúdos de fósforo, estimaram-se os seguintes índices: a) eficiência de utilização do fósforo (EUP)

(Siddiqi e Glass, 1981), em $g^2 m^{-1}$; b) Eficiência de absorção de fósforo (EAP) (Swiader et al., 1994), em $mg g^{-1}$; c) Eficiência de absorção de fósforo com base na área radicular em $mg cm^{-2}$ e d) Eficiência de translocação de fósforo (Li et al., 1991) em %, equações 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

$$EUP = \frac{(\text{Massa seca total})^2}{P \text{ planta}} \quad (\text{eq.4})$$

$$EAP = \frac{P \text{ planta}}{\text{Massa seca raiz}} \quad (\text{eq.5})$$

$$EAPR = \frac{P \text{ planta}}{\text{Área radicular}} \quad (\text{eq.6})$$

$$ETP = \frac{P \text{ Parte aérea} \times 100}{P \text{ planta}} \quad (\text{eq.7})$$

A partir dos dados de massa seca total da planta (MST) aos 240 dias após o transplante, estimou-se o parâmetro α , de acordo com CIAT (1978), usando a equação 8:

$$\alpha = \frac{\text{Massa seca total}_{(mg)P_2} - \text{Massa seca total}_{(mg)P_1}}{P_2 - P_{1(mg)}} \quad (\text{eq.8}), \text{ onde:}$$

$P_2 =$ Alta dose 80 mg P dm^{-3} ;

$P_1 =$ Baixa dose 0 mg P dm^{-3} .

Os dados de produção de massa seca total da planta na dose mais baixa de P (0 mg P dm^{-3}) e os resultados do valor α de cada genótipo foram dispostos em quadrantes. Os genótipos foram então classificados em quatro grupos, sendo: ER - genótipos eficientes e responsivos, que resultam em alta produção em baixa concentração de P na solução e resposta à adubação fosfatada; ENR - genótipos eficientes e não responsivos que resultam em alta produção em baixa concentração de P na solução e baixa resposta à adubação fosfatada; NER - genótipos não eficientes e responsivos, que apresentam baixa produção em baixa concentração de P na solução e resposta à adubação fosfatada e NENR - genótipos não eficientes e não responsivos que apresentam baixa produção em baixa concentração de P na solução e baixa resposta à adubação fosfatada.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão para as variáveis estudadas em função das épocas de amostragem, através do programa estatístico SAEG 5.0 (Gomes e Braga, 1992).

O comportamento dos cinco genótipos nas duas doses de P em estudo foi realizada através de avaliação de modelos por meio de variável *dummy* (Draper e Smith, 1966), para as variáveis qualitativas, de acordo com a equação 9.

$$y = a_0 + a_1x + a_2d_1 + a_3d_2 + a_4d_3 + a_5d_4 + a_6d_1x + a_7d_2x + a_8d_3x + a_9d_4x + e \quad (\text{eq.9})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de biomassa

Os valores médios de produção de massa seca da parte aérea, raiz e planta total de cinco genótipos cultivados nas duas doses de fósforo, são mostrados na Tabela 1B.

A produção de massa seca da parte aérea, raiz e planta total foram mais altas na dose 80 mg P dm⁻³ que na baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm⁻³), indicando que todos os genótipos responderam à adubação fosfatada.

Os valores mais altos de massa seca da parte aérea obtidos pelos genótipos LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x Catongo e CCN-51 x Catongo, aos 240 dias foram de 35,43; 28,12; 32,16 e 27,99 g planta⁻¹, respectivamente, na baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm⁻³) e 59,29; 56,99, 54,41 e 44,51 g planta⁻¹ com a dose de 80 mg dm⁻³ do fósforo. Os menores valores de massa seca acumulada na parte aérea (20,03 e 21,81 g planta⁻¹) aos 240 dias foram alcançados pelo genótipo Catongo, em ambas as doses de fósforo (0 e 80 mg dm⁻³), respectivamente.

Observa-se que o maior suprimento de fósforo (80 mg dm⁻³) estimulou o crescimento vegetativo dos diferentes genótipos, com aumentos na produção de biomassa da parte aérea, raiz e planta total comparado com a produção na dose 0 mg dm⁻³. Essa produção de biomassa da parte aérea representou um aumento de 103; 69; 67; 59 e 9 % para o genótipo COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x

Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, CCN-51 x Catongo e Catongo, respectivamente (Tabela 1B), sendo este último, o genótipo com menor incremento de massa seca de parte aérea, raiz e planta total, em todas as épocas de amostragens.

Isso indica que o Catongo apresentou baixa resposta de produção de biomassa à adição de fósforo no solo (80 mg dm^{-3}) e na dose 0 mg dm^{-3} , corroborando com Cabala-Rosand e Mariano (1985), que trabalhando com cinco cultivares de cacauero, constataram que o Catongo foi o que apresentou menor produção de biomassa.

Esse menor incremento de biomassa do Catongo pode estar relacionado também com a produção de folhas menores, reduzindo dessa forma a área fotossinteticamente ativa, que pode ser verificada pela menor área foliar ($561, 14$ e $848, 78 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) nas doses 0 e 80 mg P dm^{-3} , aos 240 dias após o transplante.

O ajuste dos dados de massa seca acumulada na parte aérea, raiz e planta total dos cinco genótipos de cacauero em função da época de amostragem após transformação logarítmica, evidenciaram uma distribuição exponencial (Figuras 1, 2 e 3). De acordo com Almeida et al. (1987), a tendência exponencial de crescimento em cacau, demonstra duas fases diferentes: uma inicial, com crescimento relativamente lento, na qual as plantas dependem das reservas da semente para a manutenção e produção dos órgãos e, outra fase linear, que se verifica após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência de maior número de folhas, na qual o metabolismo passa por maior disponibilidade de energia devido à extensão do aparelho fotossintético.

Verificou-se que os genótipos que acumularam maior quantidade de massa seca apresentaram inclinações de curva mais acentuada, indicando provavelmente maior capacidade de competição como dreno por assimilados. A menor inclinação foi observada para o Catongo que mostrou menor incremento de biomassa, o que foi observado também por Almeida et al. (1987).

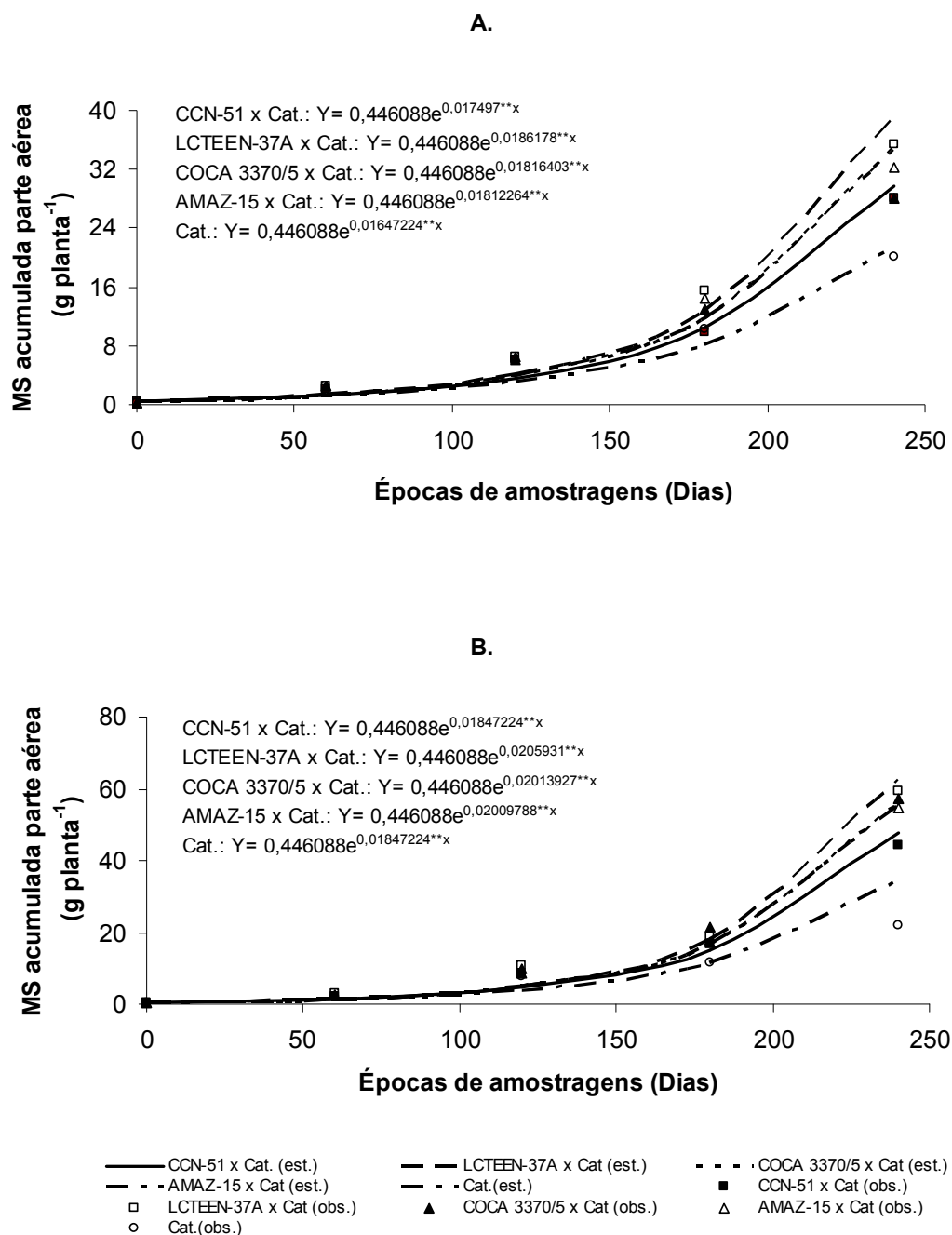


Figura 1. Massa seca acumulada na parte aérea (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacaueteiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

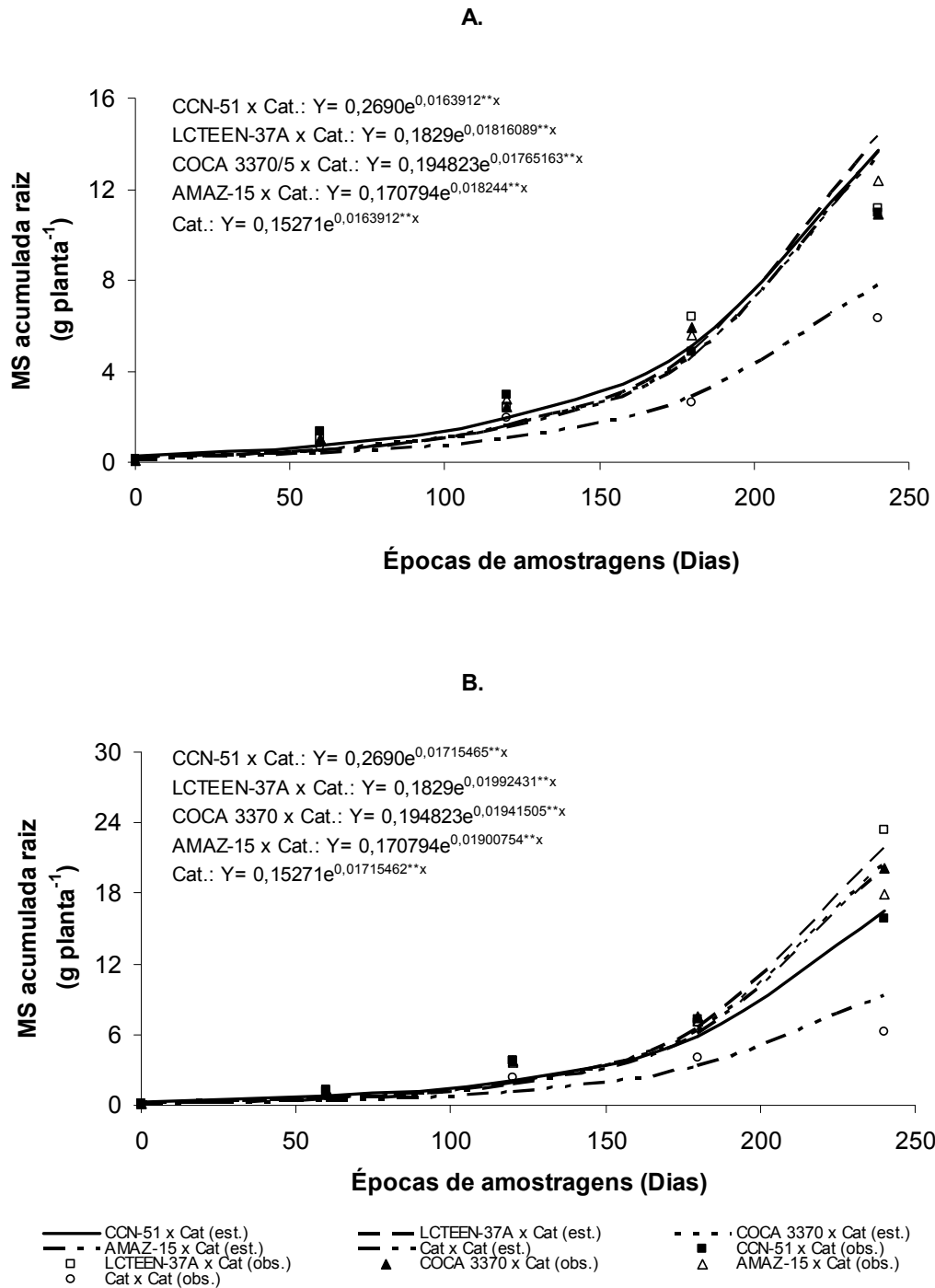


Figura 2. Massa seca acumulada na raiz (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacoeiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

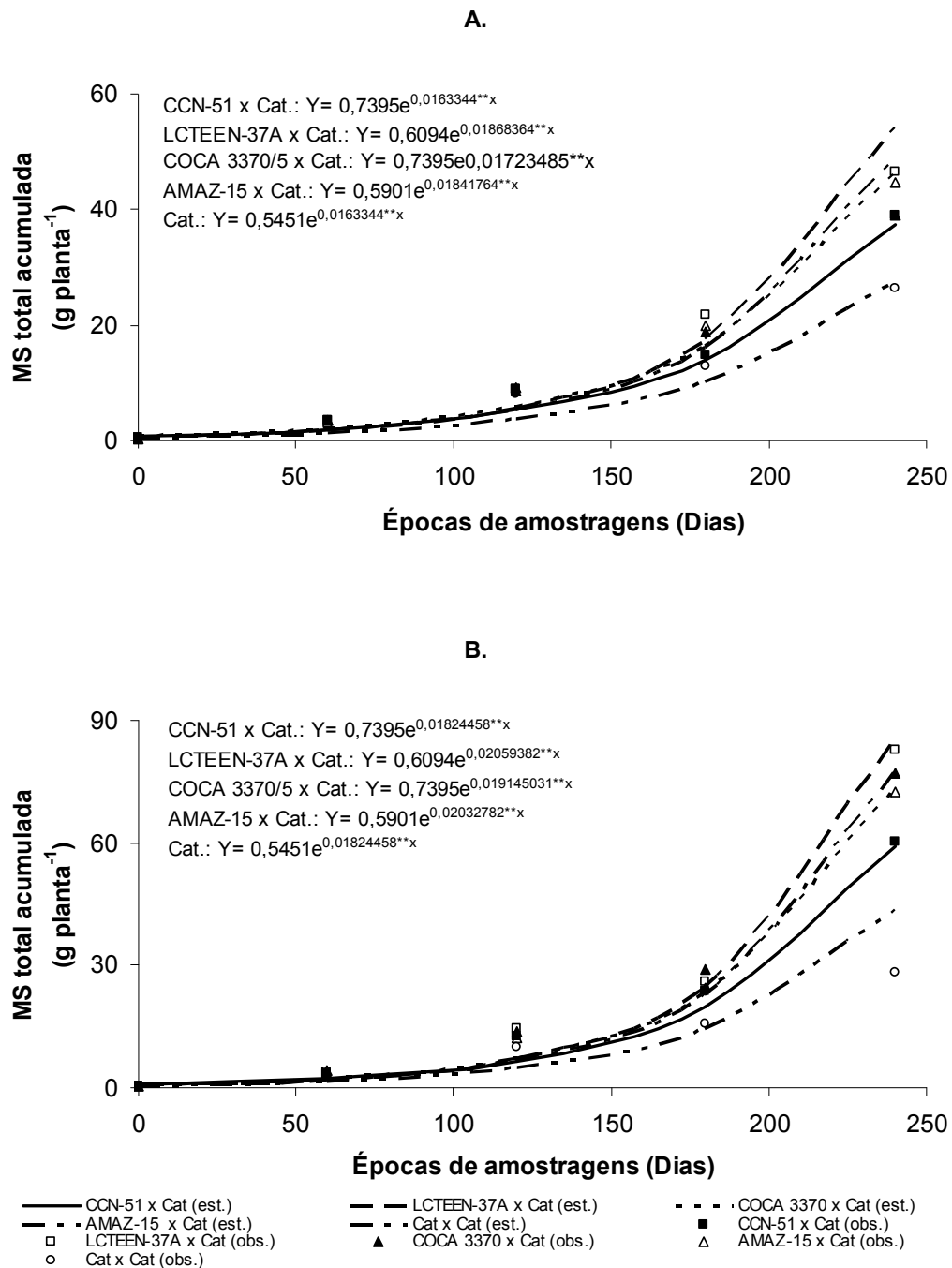


Figura 3. Massa seca acumulada na planta total (g planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

A partir de aproximadamente 160 dias após o transplante, os genótipos apresentaram uma maior amplitude de variação, sendo que aos 240 dias o LCTEEN-37A x Catongo, COCA x Catongo e AMAZ-15 x Catongo foram 66,36;

49,19 e 47,72 %, respectivamente superiores aos genótipos CCN-51 x Catongo e Catongo, para ambas as doses.

Aos 120 dias após o transplante, todos os genótipos aumentaram acentuadamente a biomassa do sistema radicular expressado em percentuais com a adição de 80 mg P dm^{-3} , com um aumento de 25,5; 55,1; 57,0; 31,3 e 17,8 % para o CCN-51 x Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x Catongo, e Catongo, respectivamente (Tabela 1B). Em termos de média, os genótipos LCTEEN-37A x Catongo e COCA 3370/5 x Catongo mostraram os maiores percentuais de aumento da biomassa da raiz (46 e 50 %, respectivamente).

Na menor dose de fósforo (0 mg dm^{-3}), aos 240 dias após o transplante, o genótipo que apresentou maior produção de biomassa radicular foi o AMAZ-15 x Catongo ($12,38 \text{ g planta}^{-1}$), seguindo do LCTEEN-37A x Catongo ($11,19 \text{ g planta}^{-1}$), COCA 3370/5 x Catongo ($10,87 \text{ g planta}^{-1}$), CCN-51 x Catongo ($10,96 \text{ g planta}^{-1}$) e Catongo ($6,32 \text{ g planta}^{-1}$). Houve uma pequena tendência dos genótipos que apresentaram menor incremento de massa seca na raiz estender a fase inicial de crescimento lento, época que segundo Almeida et al. (1987), grande parte das reservas para o desenvolvimento das raízes ainda é mobilizada dos cotilédones.

A amplitude de variação entre os genótipos para massa seca acumulada na raiz aos 240 dias após o transplante entre as duas doses de fósforo foi maior para o LCTEEN-37A x Catongo, seguido do COCA 3370/5 x Catongo, CCN-51 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, com aumentos de 109, 85, 45 e 89 %, respectivamente. O genótipo Catongo não respondeu ao aumento da disponibilidade de fósforo no substrato, apresentando um decréscimo de 0,95 % quando comparado à baixa dose do elemento (Tabela 1B).

Na Figura 2, observou-se que os genótipos inicialmente não se diferenciaram entre si e que a partir de aproximadamente 170 dias após o transplante, começaram a se diferenciar, sendo que o genótipo Catongo apresentou menor amplitude de variação, ou seja, com o aumento na idade da planta, a biomassa de raiz pouco se diferenciou. De modo geral, quando aumentou o fornecimento de fósforo (80 mg dm^{-3}), ocorreu um sensível aumento na produção da massa seca da raiz, uma vez que é o elemento que mais afeta o crescimento das raízes. O LCTEEN-37A x Catongo aos 240 dias após o transplante mostrou ter bom desempenho para exploração de um maior volume

de solo, o que pode ser verificada pela maior área radicular ($386,12 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), contribuindo claramente para este genótipo obter maior conteúdo de fósforo ($53,92 \text{ mg planta}^{-1}$) no sistema radicular. Vale ressaltar que este genótipo também mostrou um volume de raízes laterais maiores que os demais genótipos inclusos neste estudo.

Segundo resultados de Fernandes et al. (2000) com plantas jovens de três espécies florestais e quatro doses de fósforo em um Latossolo variação Una na dose de 1 mg P dm^{-3} , observaram que o crescimento foi visivelmente reduzido e o sistema radicular aumentado. Estes autores sugerem que a redução do crescimento da parte aérea pode ter sido decorrente de maior demanda de fotoassimilados para manter o crescimento radicular.

De acordo com o teste de identidade de modelo utilizando a variável binária (*Dummy*), tanto na biomassa da parte aérea, raiz e total, os genótipos apresentaram comportamentos distintos como mostram as Figuras 1, 2 e 3, com coeficiente de determinação de 0,93 para a biomassa da parte aérea e planta total e 0,92 para a raiz.

A produção de biomassa total para todos os genótipos foi responsiva à adição de 80 mg P dm^{-3} , sendo que o COCA 3370/5 x Catongo e o LCTEEN-37A x Catongo mostraram incremento de 98 e 77 % aos 240 dias após o transplante (Figuras 3A e 3B). Para os demais genótipos esse incremento foi de 62 % para AMAZ-15 x Catongo, 55 % CCN-51 x Catongo e 6,5 % Catongo.

Tanto na dose 0 mg P dm^{-3} quanto na dose 80 mg P dm^{-3} , o LCTEEN-37A x Catongo apresentou o maior incremento de massa seca total ($46,63$ e $82,69 \text{ g planta}^{-1}$), respectivamente. Comparando os demais genótipos, na presença da dose (0 mg P dm^{-3}), o AMAZ-15 x Catongo, o COCA 3370/5 x Catongo, CCN-51 x Catongo e Catongo apresentaram $44,54$; $38,99$; $38,94$ e $26,55 \text{ g planta}^{-1}$, respectivamente (Tabela1B). O LCTEEN-37A x Catongo já mostrou, na baixa dose de fósforo, uma capacidade superior aos demais genótipos de acumular biomassa.

O Catongo apresentou menor incremento de biomassa, tanto na dose 0 quanto na dose 80 mg P dm^{-3} . Isto pode indicar que o Catongo não responde à adubação fosfatada com a mesma intensidade que os demais genótipos em estudo. Estes resultados concordam com os encontrados por Cabala-Rosand e Mariano (1985). Parece que o Catongo necessita de doses superiores às

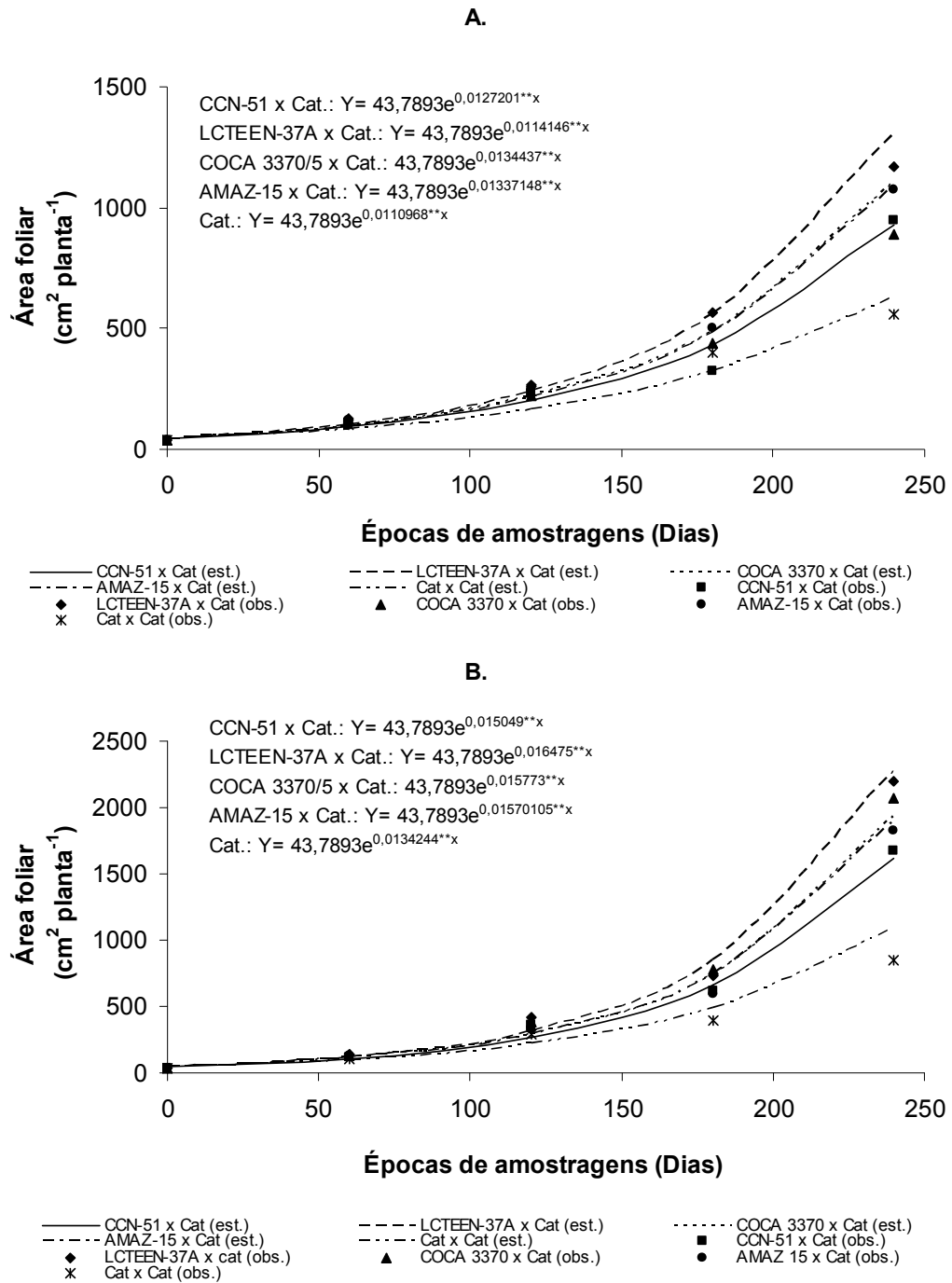
utilizadas aqui, para uma produção satisfatória. Conseqüentemente, torna-se mais viável a utilização de genótipos que, em baixas concentrações de fósforo, seja suficiente para incrementar a biomassa, otimizando os custos de produção.

Análise de crescimento

O ajuste dos dados para as variáveis de análise de crescimento dos cinco genótipos de cacauero em função das épocas de amostragens após transformação logarítmica, também evidenciou uma distribuição exponencial (Figuras 4 e 5).

Até os 120 dias de cultivo após o transplante, a área foliar mostrou semelhança para todos os genótipos estudados, nas duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm⁻³). O LCTEEN-37A x Catongo foi o que apresentou na baixa dose de fósforo (0 mg dm⁻³) melhor desenvolvimento de área foliar (3225,14 cm² planta⁻¹) aos 240 dias após o transplante (Tabela 3B).

Pelos resultados de Almeida e Valle (1988), aos 225 dias, valores entre 9000 a 9800 cm² planta⁻¹ foram observados para 'Catongo' x IMC 67, 'Catongo' x UF 613 e 'Catongo' x ICS 1.



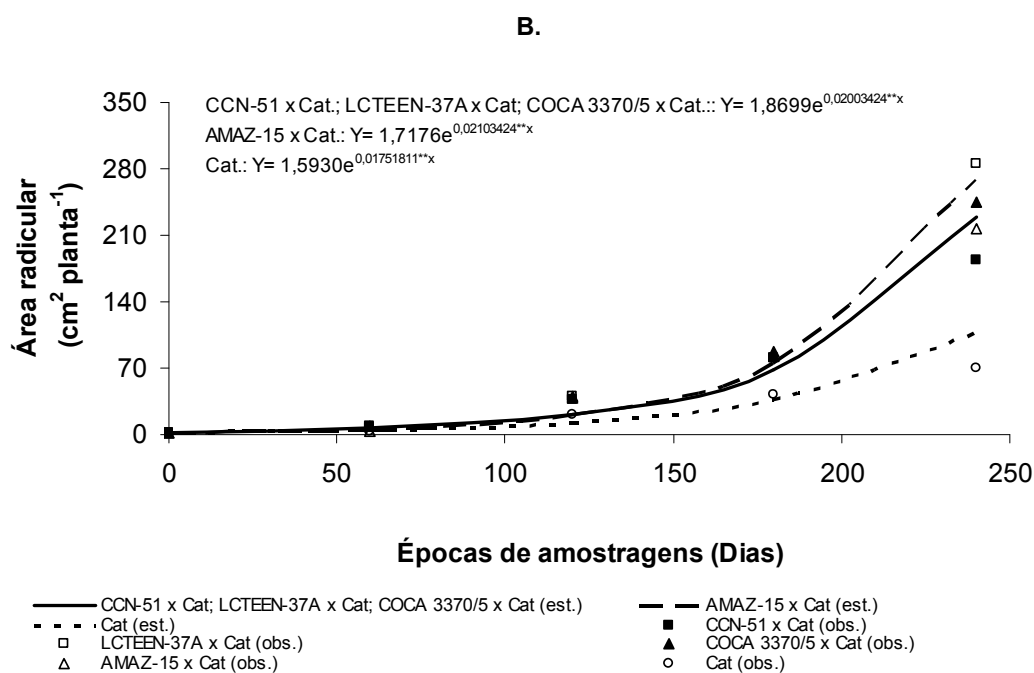
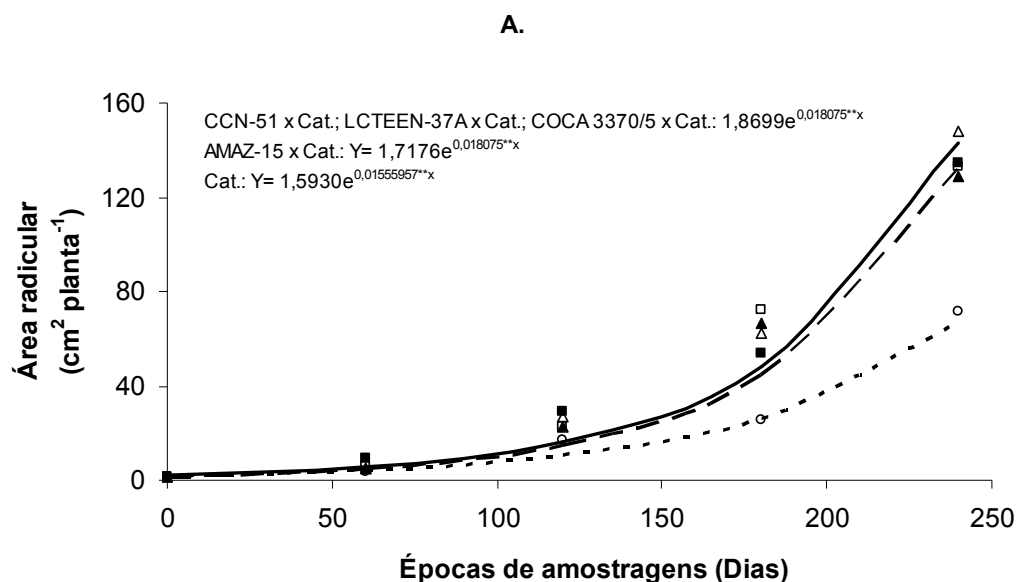


Figura 5. Área radicular (cm² planta⁻¹) de cinco genótipos de cacaueteiro na dose (0 mg P dm⁻³) (A) e (80 mg P dm⁻³) (B) em função das épocas de amostragens.

Valores de área foliar bem mais elevado para genótipos descendentes do Catongo indicam que o Catongo parece não contribuir em termos de genótipos para determinar essa característica. O IMC 67, UF 613 e ICS 1 são clones

considerados vigorosos, enquanto que o AMAZ-15, LCTEEN-37A, CCN-51 e COCA 3370/5 são muito menos vigorosos.

A área foliar correlacionou-se positivamente com a massa fresca da folha ($r= 0,99^{**}$). Sendo assim, observa-se que as folhas são os principais drenos de fotoassimilados, durante seu estágio inicial de desenvolvimento das plantas.

Aos 240 dias após o transplante, na concentração de 80 mg P dm^{-3} , o LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior área foliar ($6660,53 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Monte (1983) citado por Almeida e Valle (1988) aos 126 dias encontrou valores de área foliar no cacauzeiro entre 1400 a $2200 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$.

Neste caso, maior suprimento de fósforo estimulou a expansão foliar, com aumentos na sua área. E, valores mínimos de área foliar foram encontrados para o Catongo (Figuras 4A e 4B), pois, a reduzida massa acumulada na parte aérea desse genótipo está associada a uma menor área foliar devido ao reduzido tamanho das folhas.

De acordo com o teste de identidade de modelo, utilizando as variáveis binárias, a área foliar nas duas disponibilidades de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}), os genótipos CCN-51 x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo não foram estatisticamente diferentes entre si em nível de 1% de probabilidade, porém diferiram estatisticamente do LCTEEN-37A x Catongo e Catongo, com coeficiente de determinação de $0,97$.

Na última época de amostragem (240 dias), o Catongo foi o genótipo que apresentou menor área radicular ($92,78$ e $90,23 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), na ausência e na presença de fósforo no solo, respectivamente, tornando este genótipo, indesejável para o cultivo, uma vez que a absorção de nutrientes é proporcional ao volume de solo ocupado pelas raízes.

A exploração de um grande volume de solo pelas raízes é importante principalmente para a absorção do fósforo que se desloca pelo mecanismo de difusão (Vilela e Anghinoni, 1984) decorrente da alta relação entre demanda pela planta e concentração na solução do solo.

Aos 240 dias após o transplante, o AMAZ-15 x Catongo foi o genótipo que apresentou maior área de raiz quando na presença da baixa dose de fósforo no solo ($299,98 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Quando se adicionou o nutriente no solo (80 mg dm^{-3}), as plantas de LCTEEN-37A x Catongo apresentaram área de raiz ($386,12 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) superior aos demais genótipos.

Esses resultados estão de acordo com a massa seca da raiz, na qual na menor dose de fósforo (0 mg dm^{-3}) e também aos 240 dias, o AMAZ-15 x Catongo apresentou maior valor ($12,38 \text{ g planta}^{-1}$) e na maior disponibilidade de fósforo (80 mg dm^{-3}), o LCTEEN-37A x Catongo obteve biomassa de raiz superior aos demais genótipos ($23,40 \text{ g planta}^{-1}$) (Figura 5).

Para todos os genótipos, independente da época de amostragem e do nível de fósforo, verificou-se uma correlação linear positiva em torno de ($r= 0,94^{**}$) entre conteúdo de fósforo na planta (mg planta^{-1}) e área radicular ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), indicando, assim, que a absorção de fósforo é dependente da área de raiz ocupada no solo.

Cabala-Rosand e Mariano (1985) trabalhando com genótipos de cacauzeiros, observaram que o SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67 apresentaram maior área radicular e absorveram mais fósforo do meio de crescimento, sendo mais apropriadas para cultivos em solos de baixa fertilidade e com menores quantidades de adubos fosfatados.

Analisando os dados através da identidade de modelo (*Dummy*), o CCN-51 x Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo não diferiram estatisticamente entre si em nível de 1 % de probabilidade. Porém, com relação ao AMAZ-15 x Catongo e Catongo, eles diferiram, quanto à área radicular na presença das duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}), com R^2 de 0,97 (Figuras 5A e 5B).

As taxas de crescimento relativo (TCR) nas plantas medem o incremento da massa seca em relação à massa seca pré-existente, durante um período de tempo determinado.

O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo que apresentou maior TCR nas duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}) com valores de ($0,0187$ e $0,021 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), seguido do AMAZ-15 x Catongo com valores de $0,0184$ e $0,0203 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. O CCN-51 x Catongo e o Catongo foram os genótipos que apresentaram menor TCR, em ambas as doses de fósforo.

Okali e Owusu (1975) citado por Almeida e Valle (1988) analisando o crescimento de plantas de cacauzeiros encontraram valores médios de $0,018 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ durante os primeiros seis meses de idade da planta.

Os genótipos LCTEEN-37A x Catongo, AMAZ-15 x Catongo e COCA 3370/5 x Catongo apresentaram TCR de 13,5; 12,0 e 5,2 % maior que o CCN-51

x Catongo e o Catongo, na baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm^{-3}) e, 12,2; 10,8 e 4,7 %, na dose 80 mg dm^{-3} , respectivamente.

Almeida e Valle (1988) trabalhando com 10 híbridos de cacaueteiro durante oito meses, obtiveram um valor médio de $0,011 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, valor este inferior aos valores encontrados pelos genótipos de cacaueteiro em estudo.

A taxa de assimilação líquida (TAL) representa o acúmulo de massa, por unidade de área foliar preexistente, assumindo, portanto, caráter fisiológico (Radosevich et al., 1997), presente na Figura 6.

Inicialmente, os genótipos, COCA 3370/5 x Catongo e o Catongo apresentaram as maiores e menores taxas assimilatórias líquidas, respectivamente, quando submetido às duas doses de fósforo, com valores de $0,00014$ e $0,00010 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na baixa dose do nutriente e $0,00015$ e $0,00011 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, quando se adicionou 80 mg P dm^{-3} , respectivamente.

Quando adicionou fósforo no solo, a TAL no momento do transplante, obteve um aumento de 10 % para o Catongo, 8,3 % para o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, 7,7 % para o CCN-51 x Catongo e 7,1 % para o COCA 3370/5 x Catongo (Figura 4B).

O Catongo após 120 dias, foi o genótipo que apresentou maior TAL, com valores de $0,00054$ e $0,00050$ aos 240 dias após o transplante (Figuras 4A e 4B).

Almeida e Valle (1988) trabalhando com híbridos de cacaueteiro, encontraram valores de TAL de $0,0082$ a $0,0098 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 15 dias após a emergência. Valores superiores aos encontrados no presente estudo.

Na baixa disponibilidade de P no solo (0 mg dm^{-3}), aos 240 dias após o transplante, o COCA 3370/5 x Catongo, o LCTEEN-37A x Catongo, o AMAZ-15 x Catongo e o Catongo obtiveram aumento da TAL em comparação ao CCN-51 x Catongo de 31, 38, 50 e 108 % respectivamente, já que este a partir dos 60 dias após o transplante foi o genótipo que apresentou menor TAL. O mesmo comportamento foi observado quando se aplicou 80 mg P dm^{-3} (Figuras 6A e 6B).

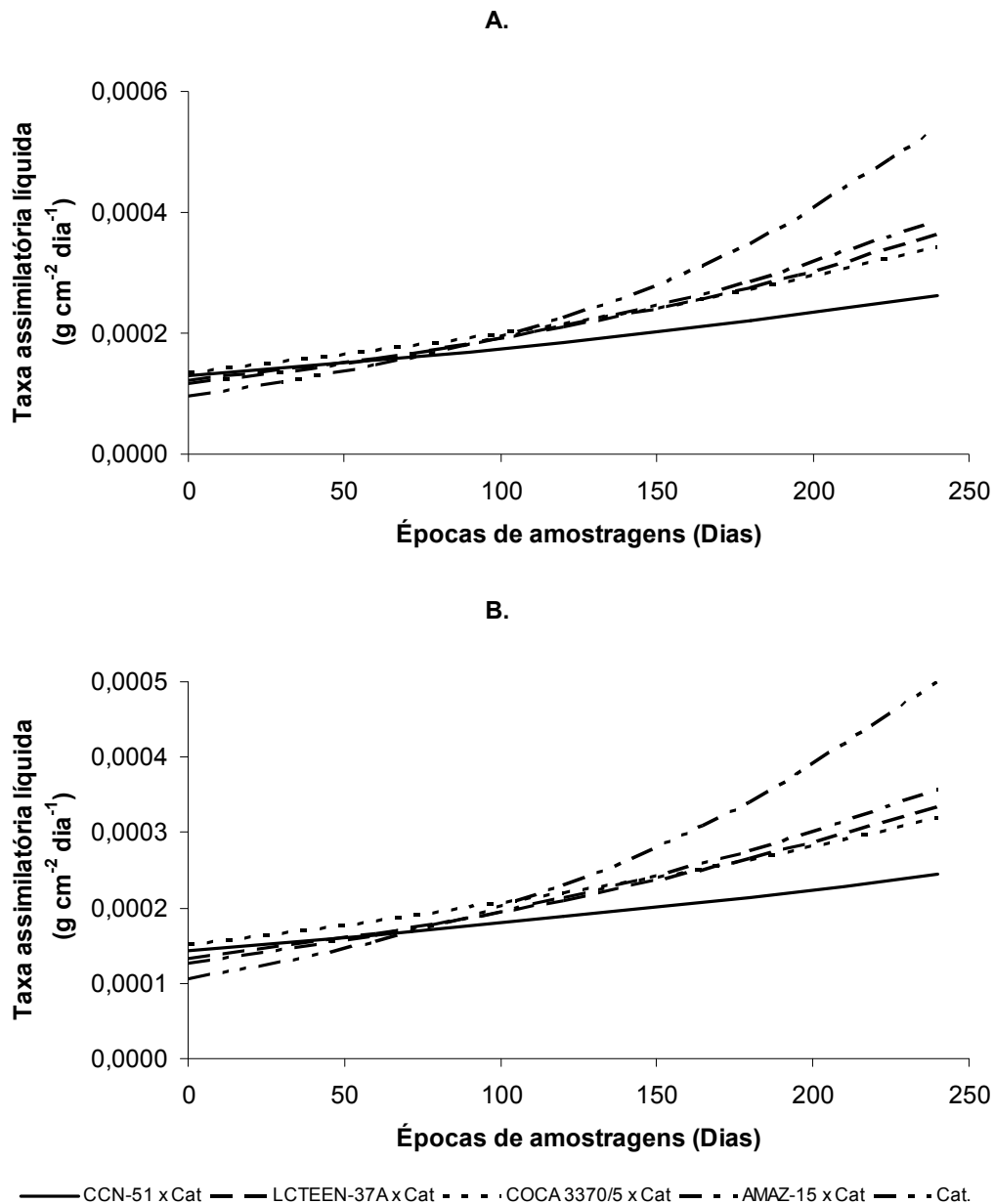


Figura 6. Taxa de assimilação líquida (TAL) ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de cinco genótipos de cacaueteiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

Conteúdo e eficiência de fósforo

O conteúdo de determinado nutriente no tecido vegetal consiste da integração de dois processos dinâmicos: a absorção e transporte do nutriente e acumulação de massa seca (Lindegardh, 1966, citado por Jarrel e Beverly, 1981).

Na parte aérea, a partir de 180 dias, o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior conteúdo de fósforo que os demais quando na ausência de

fósforo (0 mg dm^{-3}), seguido do AMAZ-15 x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo, CCN-51 x Catongo e Catongo. O Catongo apresentou menores acumulações de fósforo na massa seca ($10,88$ e $21,60 \text{ mg planta}^{-1}$) quando presente nas doses 0 e 80 mg P dm^{-3} . O mesmo obteve valores também menores de produção de biomassa, conforme observado na Tabela 1B.

Aos 240 dias após o transplante, o LCTEEN-37A x Catongo, AMAZ-15 x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo e o CCN-51 x Catongo obtiveram incrementos de fósforo na parte aérea de 126, 119, 105 e 88 %, respectivamente, superiores ao Catongo, na ausência do nutriente. Com a aplicação de 80 mg P dm^{-3} , os mesmos apresentaram um aumento no conteúdo de fósforo na parte aérea de 235, 168, 161 e 159 % com relação ao Catongo, respectivamente (Figuras 7A e 7B).

A parte aérea, raiz e planta total do cacauzeiro apresentaram comportamento exponencial para conteúdo de fósforo acumulado (Figuras 7, 8 e 9).

Muchhal e Raghothama (1999) demonstraram que as plantas aumentam sua capacidade de absorver P_i durante períodos de estresse de fósforo devido à síntese de moléculas transportadoras adicionais.

Porém, em ambas as doses, o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior acumulação de fósforo na parte aérea e planta total, em relação aos genótipos avaliados aos 120 e 150 dias após o transplante, respectivamente (Figura 7 e 9). O Catongo foi o genótipo que acumulou menor quantidade de P na parte aérea, corroborando com Cabala-Rosand e Mariano (1985).

Quanto às raízes, também foram verificadas diferenças entre os genótipos e as doses de fósforo. O sistema radicular acumulou menores quantidades de fósforo que a parte aérea (Figuras 7 e 8).

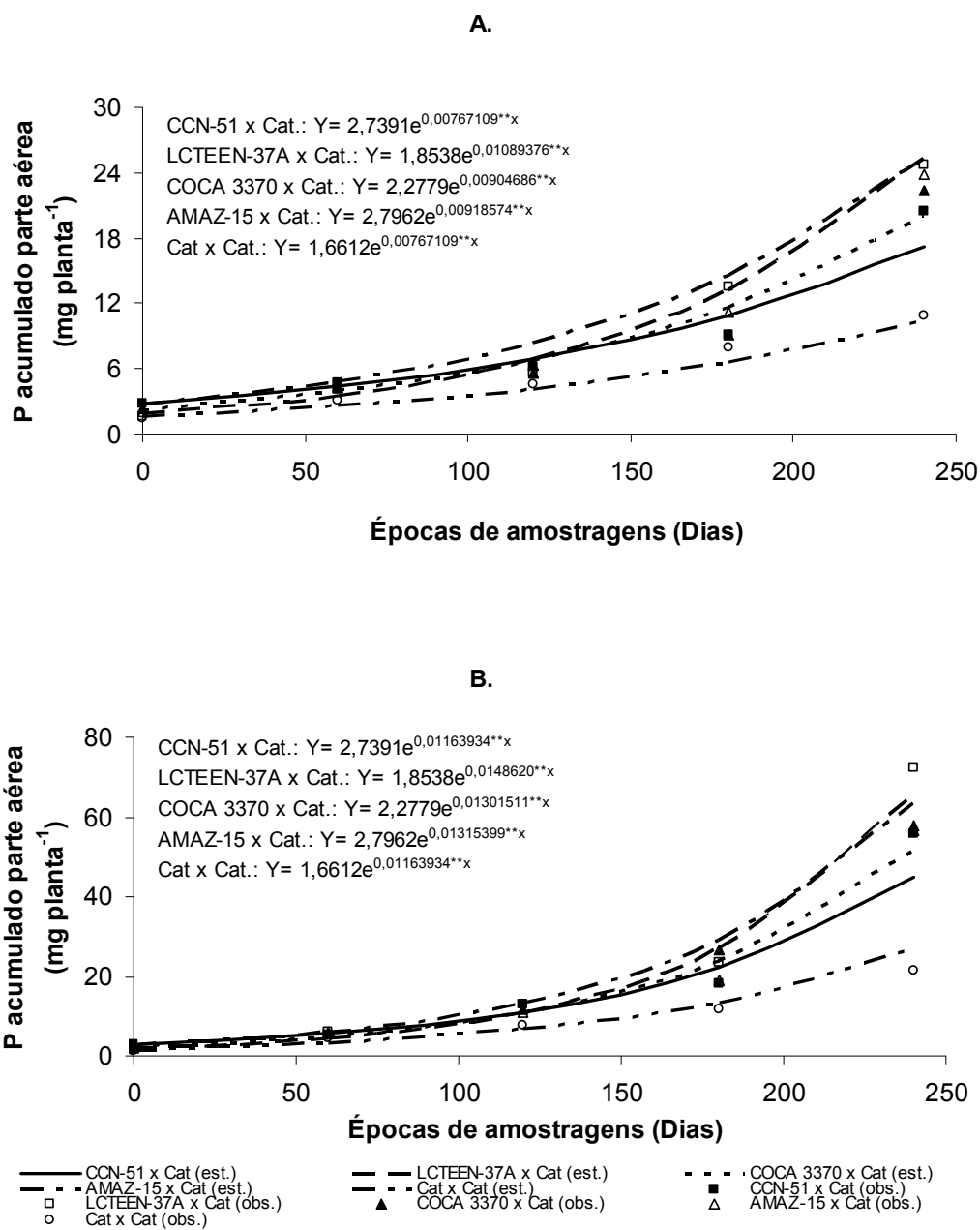


Figura 7. Conteúdo de P acumulado na parte aérea (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacaueteiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

O maior suprimento do elemento causou aumento significativo no conteúdo de fósforo acumulado, tanto para parte aérea, raiz e planta total (Figuras 8, 9 e 11).

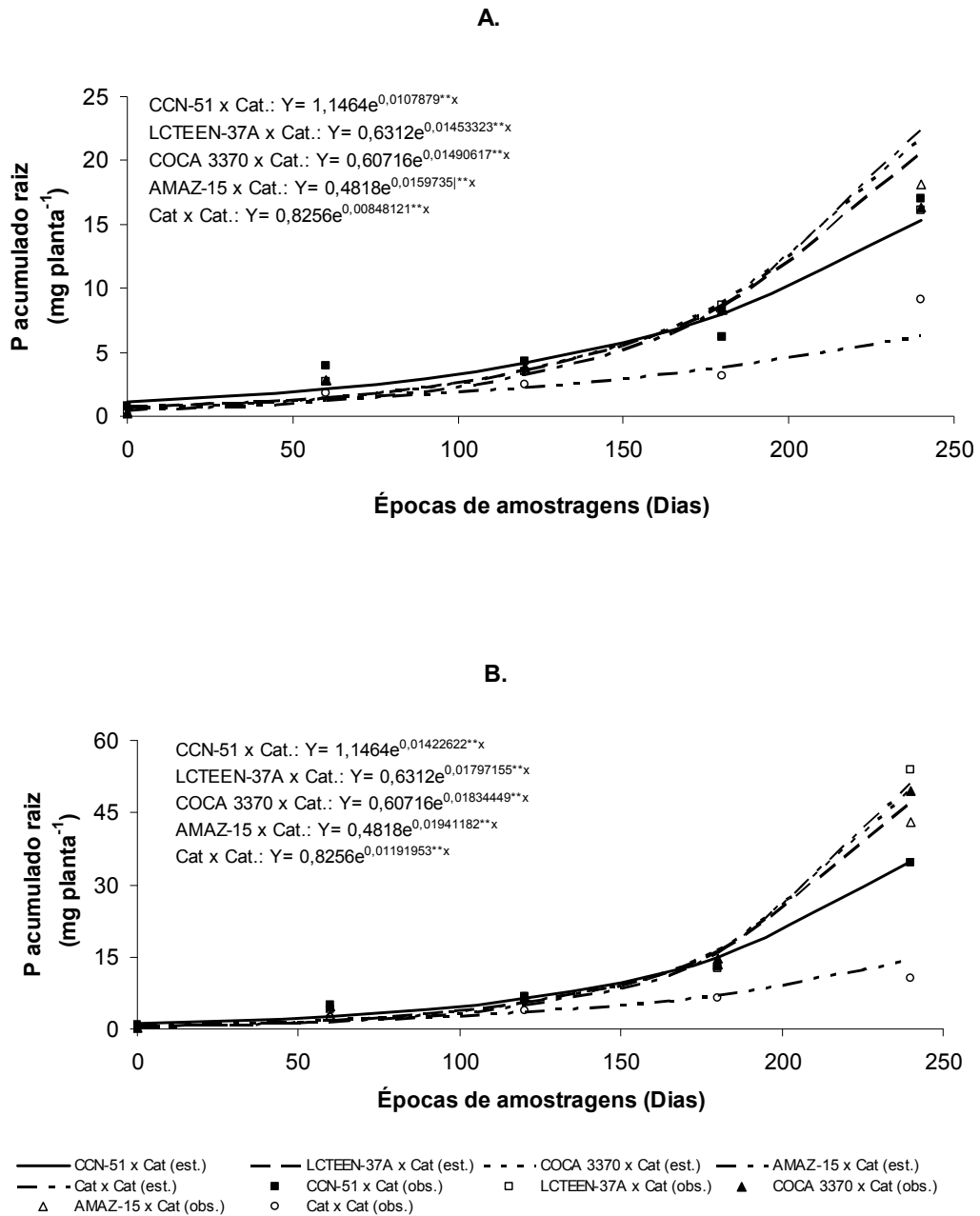


Figura 8. Conteúdo de P acumulado na raiz (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacaveiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

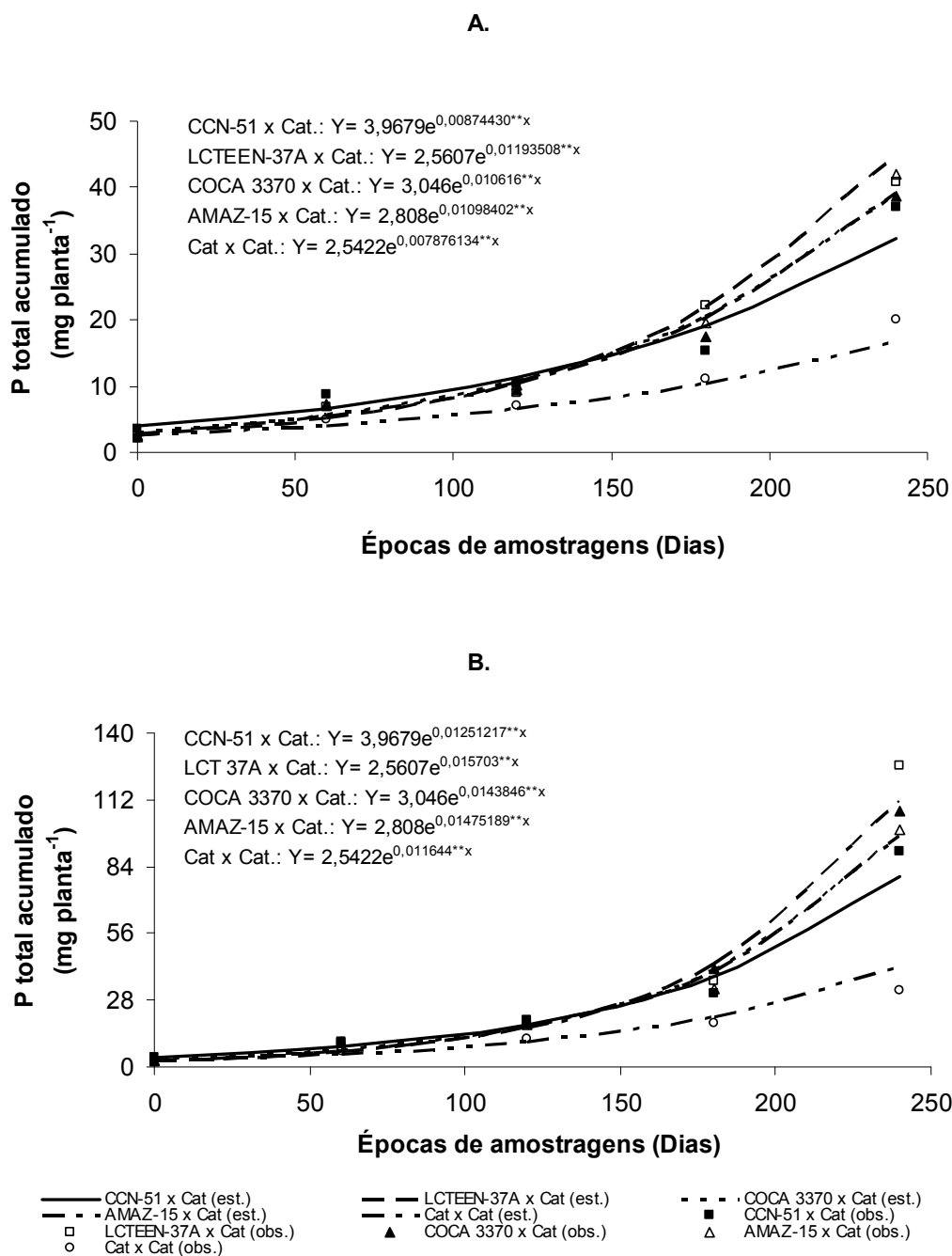


Figura 9. Conteúdo P acumulado na planta (mg planta^{-1}) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

Para todos os genótipos, verificou-se uma estreita associação entre o conteúdo de fósforo na planta e as variáveis área radicular e massa seca da raiz acumulada, apresentando uma correlação positiva de ($r= 0,96^{**}$), indicando que a absorção de fósforo é dependente da extensão do sistema radicular.

Os genótipos LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, que apresentaram maior área radicular e maior massa seca acumulada na raiz na baixa dose do elemento (0 mg P dm^{-3}), absorveram mais fósforo do meio de crescimento, podendo esses genótipos, ser mais apropriados para cultivos em solos de baixa fertilidade e com menores quantidades de adubos fosfatados.

Essas observações podem ser constatadas pelo influxo de fósforo (Figura10), no qual o LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo foram os genótipos que apresentaram maiores taxas de influxo tanto na baixa quanto na alta disponibilidade de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}), respectivamente.

O CCN-51 x Catongo inicialmente apresentou maior taxa de influxo, reduzindo em torno de 15 dias quando submetido à dose 0 mg P dm^{-3} e 45 dias na dose 80 mg P dm^{-3} , associando ao seu alto acúmulo de fósforo na raiz inicialmente ($0,80 \text{ mg planta}^{-1}$).

Föhse et al. (1991) trabalhando com sete espécies de plantas, observaram que o influxo de fósforo não se correlaciona com o raio radicular, pêlos radiculares e sim, com o número e o comprimento de pêlos radiculares.

Observa-se que com o aumento da idade da planta, o conteúdo de fósforo na parte aérea, raiz e planta total aumentaram, em decorrência do maior crescimento vegetal, exigindo mais do elemento para o seu metabolismo, tais como respiração e fotossíntese, no qual, de acordo com Walk et al. (2006), o crescimento das plantas estimulou a aquisição de fósforo principalmente quando a sua disponibilidade no solo era baixa.

De acordo com Marschner (1995), como estratégia para evitar o estresse nutricional, as plantas adaptadas aos solos de baixa fertilidade apresentam altas concentrações de fósforo e outros nutrientes na parte aérea. Todavia, essas plantas não se caracterizam por uma alta eficiência de absorção, sendo os elevados teores de nutrientes na biomassa função de suas lentas taxas de crescimento, mesmo sob condições de melhor suprimento.

O conteúdo de fósforo no sistema radicular dos genótipos foi maior quando aumentou a disponibilidade de fósforo (80 mg dm^{-3}). Em ambas as doses, o Catongo apresentou menor acúmulo de fósforo na raiz (Figuras 8A e 8B). Aos 180 dias após o transplante, ocorreu maior amplitude de variação entre os

genótipos, exceto para o Catongo que nas doses 0 e 80 mg P dm⁻³, a partir de 100 dias após o transplante, diferenciou seu comportamento dos demais genótipos.

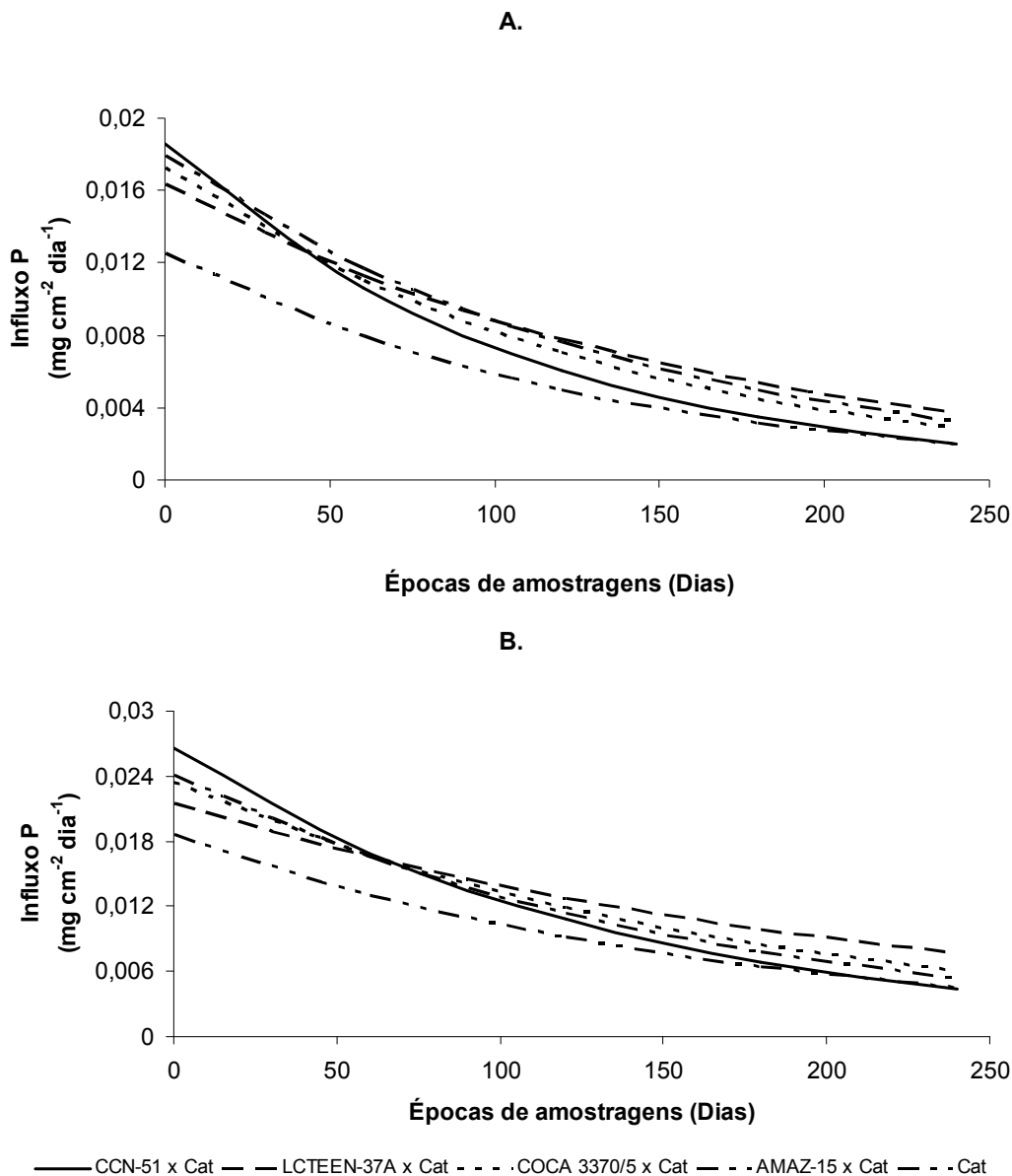


Figura 10. Influxo de P ($\text{mg cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

Na baixa disponibilidade de fósforo (0 mg dm^{-3}), o CCN-51 x Catongo até aos 154 dias após o transplante foi o genótipo que apresentou maior acúmulo do nutriente no sistema radicular ($6,0 \text{ mg planta}^{-1}$). A partir daí, o AMAZ-15 x Catongo

apresentou maior quantidade de fósforo na raiz. Quando se adicionou 80 mg P dm⁻³ de solo, o COCA 3370/5 x Catongo aos 180 dias, apresentou maior acúmulo de fósforo na raiz (14,56 mg planta⁻¹).

Algumas plantas respondem às baixas concentrações de fósforo no solo pelo aumento do sistema radicular, desenvolvendo rapidamente raízes laterais com abundantes pêlos radiculares que melhoram a habilidade da planta em explorar o solo em busca de novas reservas de fósforo do solo, e o extraem eficientemente quando áreas com alto teor de elemento são encontradas.

Quando se adicionou 80 mg P dm⁻³, o acúmulo de fósforo na raiz aos 240 dias aumentou 236, 203, 137, 103 e 16 % para os genótipos LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x Catongo, CCN-51 x Catongo e Catongo, respectivamente, comparado à sua baixa disponibilidade.

A absorção de fósforo pelas plantas é proporcional à densidade das raízes. Assim, o incremento da área superficial da raiz aumenta a habilidade da planta em acessar e absorver o elemento do solo (Grant et al., 2001).

A adubação fosfatada aumentou o conteúdo de fósforo na planta, ao redor de 100 % aos 180 dias após o transplante, sendo que ao final do experimento (240 dias), o LCTEEN-37A x Catongo (126,21 mg planta⁻¹), COCA 3370/5 x Catongo (107,31 mg planta⁻¹) e AMAZ-15 x Catongo (99,55 mg planta⁻¹) foram os genótipos que acumularam maior quantidade de fósforo. (Figura 9B).

O Catongo foi o genótipo que apresentou menor conteúdo de fósforo na planta, na baixa e alta disponibilidade do elemento, alcançando valores de 19,84 e 32,17 mg planta⁻¹, respectivamente, e, aos 240 dias após o transplante, obteve um acréscimo de 60,85 % quando se adicionou 80 mg dm⁻³.

O conteúdo de fósforo acumulado na planta correlacionou-se positivamente com a área radicular ($r= 0,96^{**}$), implicando que, quanto maior a área da raiz, maior a quantidade de fósforo absorvido pela planta, como observado por Grant et al. (2001). Já para Dechassa et al. (2003) e Krasilnikoff et al. (2003), o aumento da eficiência de absorção de fósforo, depende das características do sistema radicular, principalmente os pêlos radiculares.

Apesar de o fósforo movimentar-se principalmente no solo via processo de difusão (Marschner, 1995), a interceptação radicular, através de um maior crescimento do sistema radicular em relação à parte aérea, também permite

melhorar a exploração do solo e a absorção de fósforo (Föhse et al., 1988; Raghothama, 1999).

Através da identidade de modelos, utilizando variáveis binárias (*Dummy*), o acúmulo de fósforo na parte aérea, raiz e planta total foram estatisticamente diferentes com coeficiente de determinação de 0,98, 0,92 e 0,97, respectivamente (Figuras 7, 8 e 9).

Considerando que as plantas no momento do transplante apresentavam cotilédone e que esse forneceria fósforo às mesmas até o determinado período entre 50 a 60 dias, o LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior conteúdo de fósforo no cotilédone como reserva (6,38 mg cotilédone⁻¹) no transplante, contrário ao Catongo que apresentou menor conteúdo do elemento (3,35 mg cotilédone⁻¹). Após descontar o conteúdo de fósforo fornecido às plantas pelo cotilédone, a absorção de fósforo foi de 4,44; 5,88; 5,18; 4,42 e 3,09 mg planta⁻¹ para o CCN-51 x Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, COCA 3370/5 x Catongo, AMAZ-15 x Catongo e Catongo, respectivamente (Tabela 3). O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo que apresentou melhor aproveitamento de fósforo da sua reserva, além do que foi adicionado na forma de adubação.

Tabela 3. Conteúdo de fósforo no cotilédone (mg planta⁻¹) de cinco genótipos de cacaueteiro, no transplante e após sua queda natural

| Genótipos | | | | |
|---------------------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|
| CCN-51 x Cat | LCTEEN-37Ax Cat | COCA 3370/5 x Cat | AMAZ-15 x Cat | Cat x Cat |
| No transplante | | | | |
| 4,88 | 6,38 | 5,61 | 4,80 | 3,35 |
| Após queda natural | | | | |
| 0,44 | 0,50 | 0,43 | 0,38 | 0,26 |

O LCTEEN-37A x Catongo apresentou uma absorção de 90 % em relação ao genótipo Catongo, seguido do COCA 3370 x Catongo, CCN-51 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, com valores de 68; 44 e 43 %. Mesmo tendo maior aproveitamento do fósforo da reserva, o LCTEEN-37A x Catongo aos 240 dias após o transplante, apresentou maior absorção de fósforo, devido a um menor teor do elemento na solução do solo (Tabela 4).

Tabela 4. Teor médio de fósforo (mg dm^{-3}) disponível no solo, após a época de cada amostragem das plantas na presença das suas doses de fósforo

| Época de amostragem | Genótipos | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|
| | CCN-51 x Cat | LCTEEN-37Ax Cat | COCA 3370/5 x Cat | AMAZ-15 x Cat | Cat x Cat |
| |0 mg dm^{-3} | | | | |
| 60 | 5,69 | 5,57 | 6,45 | 6,66 | 6,35 |
| 120 | 5,96 | 6,17 | 5,78 | 6,49 | 6,05 |
| 180 | 3,41 | 3,59 | 3,57 | 4,69 | 5,66 |
| 240 | 2,78 | 2,52 | 2,78 | 3,14 | 3,42 |
| |80 mg dm^{-3} | | | | |
| 60 | 8,90 | 8,12 | 7,42 | 9,54 | 11,92 |
| 120 | 11,03 | 12,99 | 12,59 | 12,89 | 13,70 |
| 180 | 6,10 | 7,11 | 6,47 | 5,60 | 12,75 |
| 240 | 6,80 | 6,78 | 4,51 | 7,66 | 10,31 |

(Extrator Mehlich 1)

A menor concentração de fósforo no solo, após a colheita das plantas, foi observada aos 240 dias na presença de ambas as doses de fósforo.

Na dose (0 mg dm^{-3}) de fósforo em média, o COCA 3370/5 x Catongo foi o genótipo que apresentou melhor aproveitamento do fósforo no solo, com teor do elemento ($4,39 \text{ mg dm}^{-3}$), seguido do LCTEEN-37A x Catongo; CCN-51 x Catongo; AMAZ-15 x Catongo e Catongo. Este foi o genótipo que apresentou menor absorção do fósforo do solo, apresentando conseqüentemente menor incremento de biomassa.

Os genótipos obtiveram uma absorção de fósforo do solo de 1,36; 1,29; 1,28; 0,75 e $0,55 \text{ mg dm}^{-3}$ para o COCA 3370/5 x Catongo; CCN-51 x Catongo; LCTEEN-37A x Catongo; AMAZ-15 x Catongo e Catongo, respectivamente.

Quando se aplicou 80 mg P dm^{-3} , o mesmo comportamento anterior foi observado, no qual o COCA 3370/5 x Catongo foi o genótipo que apresentou maior absorção de fósforo do solo de ($14,50 \text{ mg dm}^{-3}$) seguido do CCN-51 x Catongo ($14,04 \text{ mg dm}^{-3}$); LCTEEN-37A x Catongo ($13,5 \text{ mg dm}^{-3}$); AMAZ-15 x Catongo ($13,3 \text{ mg dm}^{-3}$) e Catongo ($10,08 \text{ mg dm}^{-3}$). Isso demonstra que em ambas as doses de fósforo, o COCA 3370/5 x Catongo foi mais eficiente em aproveitar o nutriente do solo.

A eficiência de absorção com base na massa seca da raiz dos cinco genótipos de cacauero, melhor se ajustou a uma função raiz quadrática, tendo

como variável independente as épocas de amostragens, tanto na baixa como na alta disponibilidade de fósforo (0 e 80 mg dm⁻³), respectivamente.

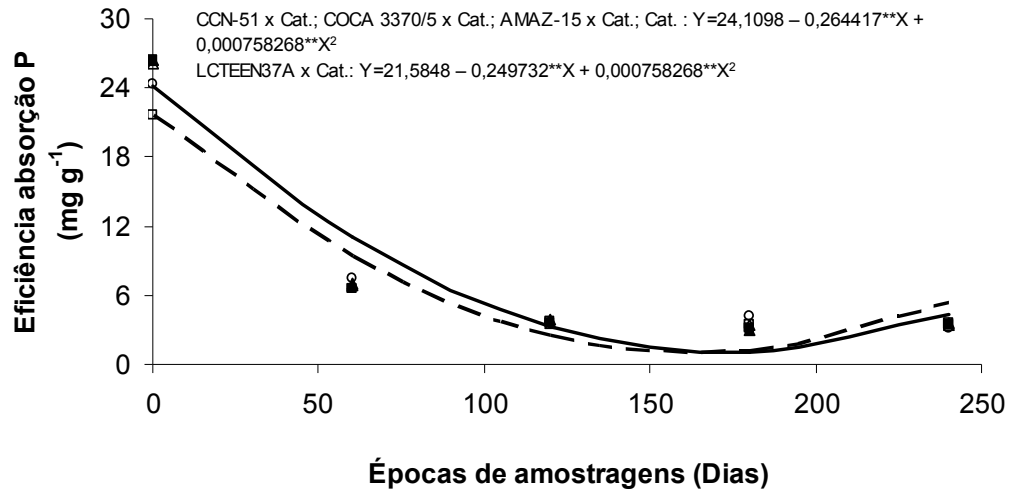
A diferença da eficiência de absorção de fósforo nos genótipos tanto com base na massa seca da raiz quanto com base na área radicular na presença e ausência da adubação fosfatada, não diferiu muito, ou seja, a aplicação do fósforo não alterou significativamente sua eficiência de absorção, corroborando com Illenseer e Paulilo (2002), que trabalhando com *Euterpe edulis* Mart. observaram que a eficiência de absorção de fósforo não foi influenciada pelos níveis do elemento.

Através do teste de identidade de modelo, o LCTEEN-37A x Catongo, diferiu estatisticamente dos demais genótipos na eficiência de absorção com base na massa seca da raiz e na eficiência de absorção com base na área de raiz (Figuras 11 e 12) com R² de 0,94 e 0,77, respectivamente. Essa similaridade de comportamento do LCTEEN-37A x Catongo pode ser explicada pela alta correlação positiva existente entre a massa seca da raiz e a área radicular (r= 0,99**), apresentando também uma menor eficiência de absorção de fósforo, até aproximadamente os 180 dias após o transplante.

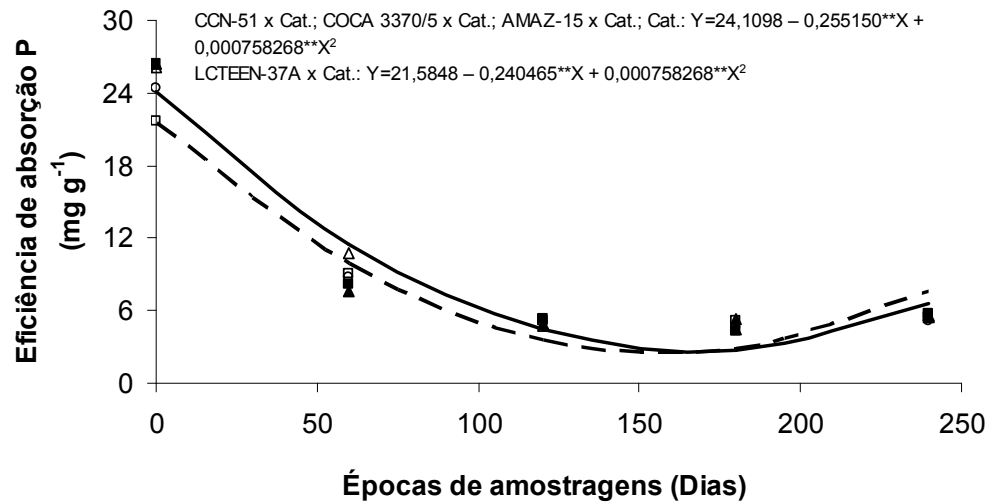
A eficiência de absorção está relacionada com a capacidade de absorção de maiores quantidades de fósforo com o mínimo investimento em crescimento radicular (Elliott e Läuchli, 1985). Isso pôde ser observado para o genótipo LCTEEN-37A x Catongo, que apresentou na baixa disponibilidade de fósforo no solo, em média, maior conteúdo de fósforo na parte aérea (9,89 mg planta⁻¹) e exibiu um sistema radicular reduzido (4,22 g planta⁻¹).

Com a aplicação de 80 mg P dm⁻³, aos 240 dias após o transplante, o COCA 3370/5 x Catongo, CCN-51 x Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, Catongo e AMAZ-15 x Catongo apresentaram um acréscimo de eficiência de absorção com base na massa seca da raiz de 52, 66, 49, 64 e 65 %, sendo o LCTEEN-37A x Catongo o genótipo que apresentou menor influência da adubação fosfatada quanto à eficiência de absorção.

A.



B.



— CCN-51 x Cat.; COCA 3370 x Cat.; AMAZ-15 x Cat.; Cat x Cat (est.) — LCTEEN-37A x Cat (est.)
 ■ CCN-51 x Cat (obs.) □ LCTEEN-37A x Cat (obs.)
 ▲ COCA 3370 x Cat (obs.) △ AMAZ-15 x Cat (obs.)
 ○ Cat x Cat (obs.)

Figura 11. Eficiência de absorção P (mg g^{-1}) com base na massa seca acumulada na raiz de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

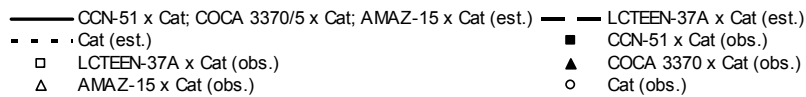
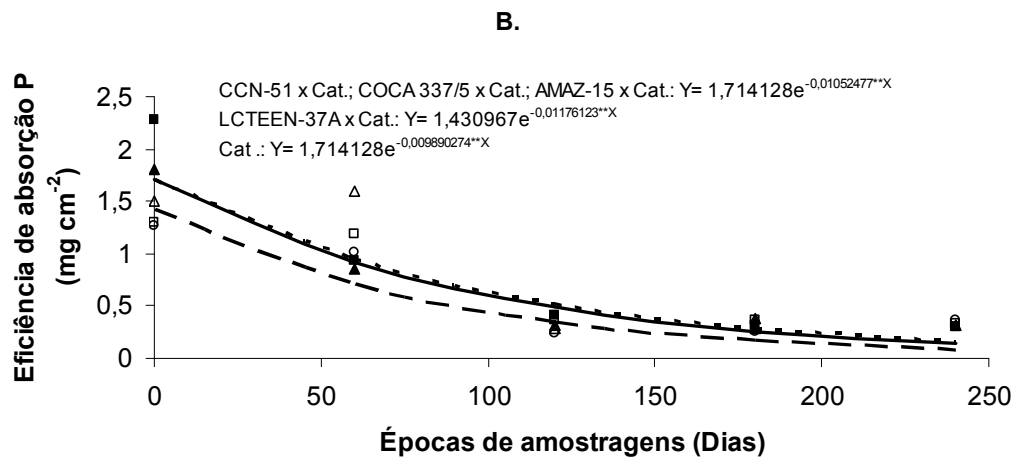
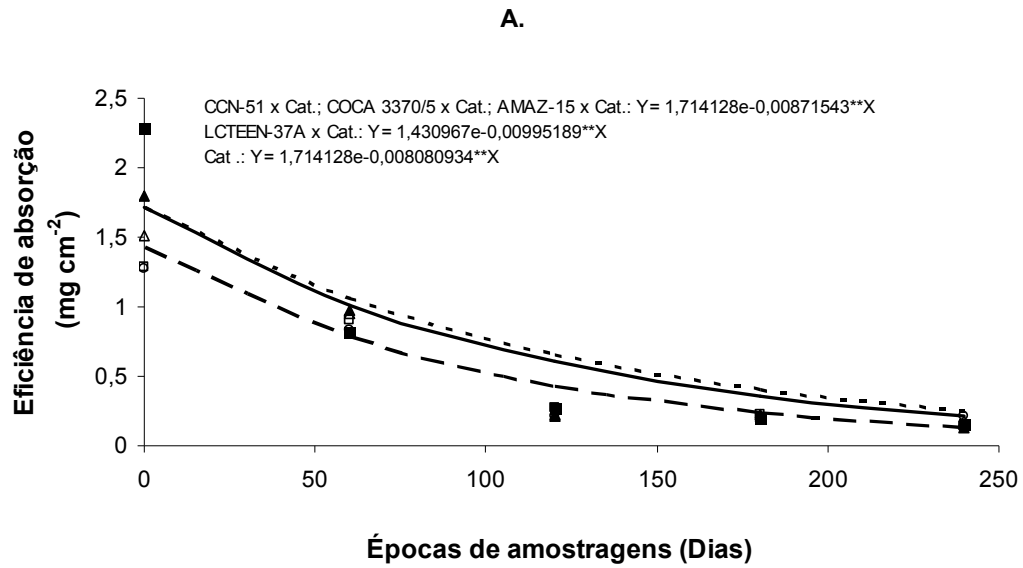


Figura 12. Eficiência de absorção P (mg cm^{-2}) com base na área radicular de cinco genótipos de cacaueteiro na dose (0 mg P dm^{-3}) (A) e (80 mg P dm^{-3}) (B) em função das épocas de amostragens.

A eficiência de translocação de fósforo reflete a partição do nutriente nas raízes e parte aérea.

Em geral, todos os genótipos mostraram maior translocação de fósforo com o aumento da concentração deste elemento no solo. Na dose (0 mg P dm^{-3}) do nutriente, o genótipo AMAZ-15 x Catongo foi mais eficiente em translocar o

nutriente, seguido do LCTEEN-37A x Catongo, Catongo, COCA 3370/5 x Catongo e CCN-51 x Catongo. Em média, a translocação de P em torno de 2,3 %, aumentou em todos os genótipos com o aumento de sua concentração na solução solo (80 mg dm^{-3}) (Tabela 6B).

Os dados para eficiência de translocação se ajustaram a um modelo quadrático. (Figura 13).

Com o aumento da idade das plantas, a eficiência de translocação foi decrescendo e uma maior retenção de fósforo ocorreu nas raízes nas condições de baixa disponibilidade desse nutriente no solo (0 mg dm^{-3}), priorizando o crescimento das raízes em relação à parte aérea (Abichequer et al., 2003; Fernandes et al., 2007).

Aos 240 dias após o transplante, a dose de 80 mg P dm^{-3} , provocou um aumento de 3,8; 4,5; 4,7; 5,0 e 5,4 % na translocação de fósforo para a parte aérea, no COCA 3370/5 x Catongo, Catongo, LCTEEN-37A x Catongo, CCN-51 x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, respectivamente.

Inicialmente, o COCA 3370/5 x Catongo apresentou maior eficiência de translocação e, aos 37 dias aproximadamente, o AMAZ-15 x Catongo foi o genótipo que apresentou maior eficiência, em ambas as doses de fósforo no solo (Figura 13).

Através do teste de identidade de modelo, os genótipos foram estatisticamente diferentes ($R^2= 0,68$), tanto na baixa dose de fósforo quando na adição de 80 mg P dm^{-3} , como demonstrado na Figura 13.

Inicialmente, os genótipos obtiveram o mesmo comportamento até aos 170 dias e, a partir daí, começaram a diferir na menor dose de fósforo, aos 240 dias após o transplante. O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo que apresentou maior eficiência de utilização de fósforo ($49,33 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$), seguido do AMAZ-15 x Catongo ($46,58 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$), COCA 3370/5 x Catongo ($44,82 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$), CCN-51 x Catongo ($36,97 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$) e Catongo ($35,27 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$).

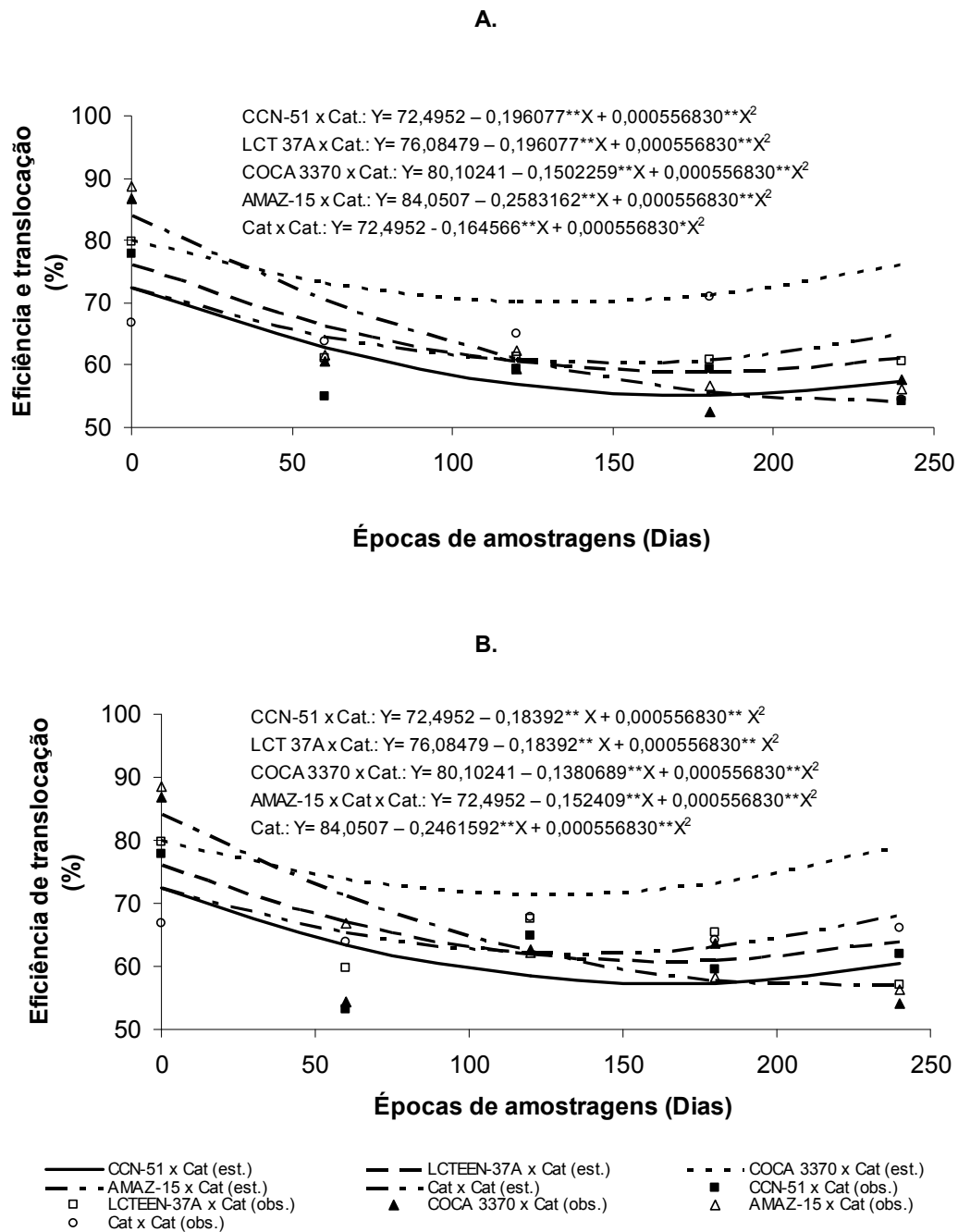


Figura 13. Eficiência de translocação P (%) de cinco genótipos de cacauero na dose (0 mg P dm⁻³) (A) e (80 mg P dm⁻³) (B) em função das épocas de amostragens.

Nesse mesmo período (240 dias), o Catongo na dose (0 mg P dm⁻³) apresentou o menor valor da eficiência de utilização quando comparado na dose 80 mg P dm⁻³) com um decréscimo de 39 % (Tabela 6B). O CCN-51 x Catongo obteve um acréscimo muito baixo (0,07 %), seguido do LCTEEN-37A x Catongo

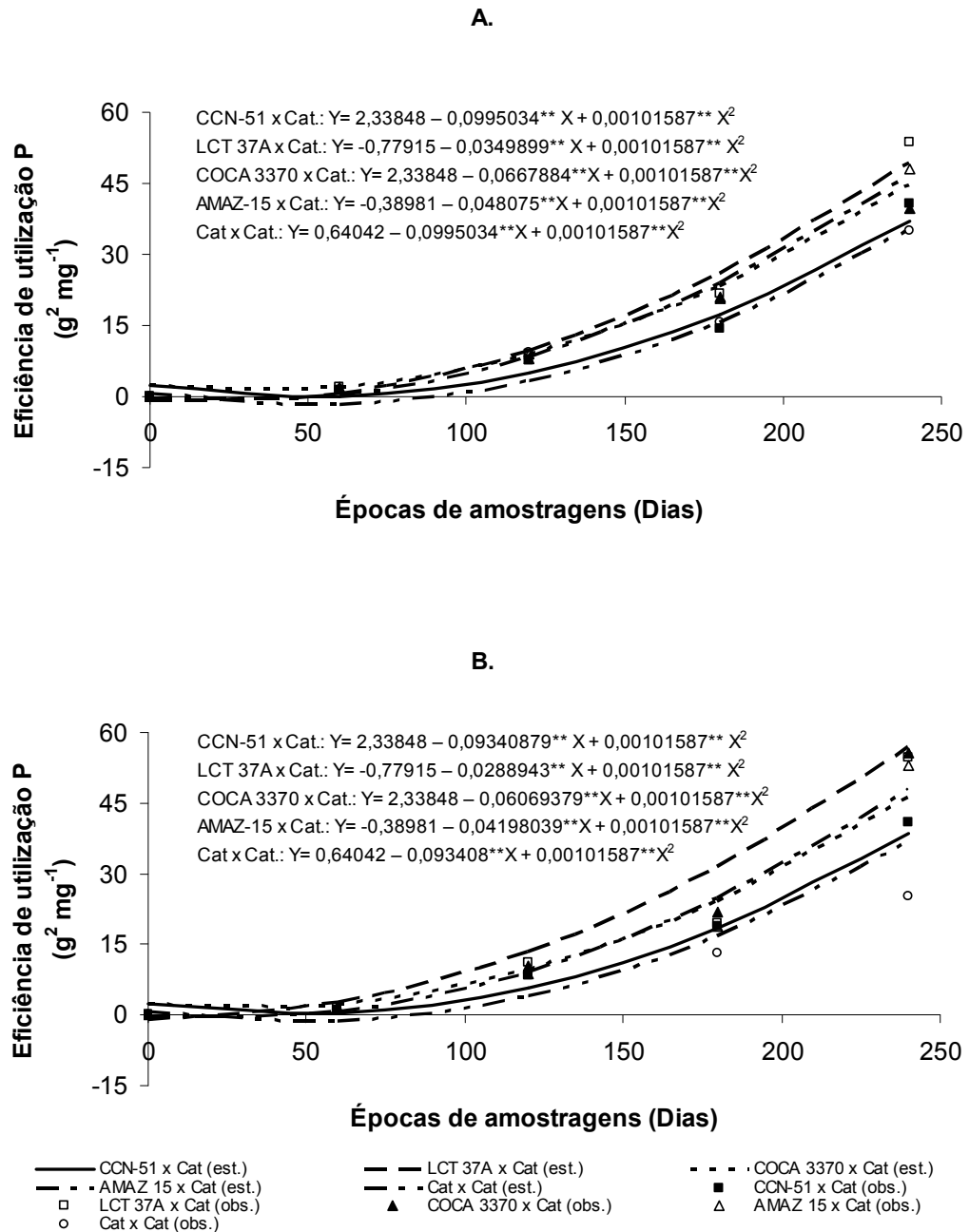
(1,6 %), AMAZ-15 x Catongo (10 %) e COCA 3370/5 x Catongo (40,7 %), sendo este último o genótipo mais responsivo à adubação fosfatada. Tal fato pode ser interpretado como uma relação diferencial das taxas de absorção do nutriente e produção de massa seca pelos genótipos.

Resende et al. (2000) trabalhando com diversas espécies florestais, observaram que menores doses de fósforo limitaram a absorção e a utilização de nutrientes pelas espécies.

Algumas espécies de plantas que crescem em regiões de solos pobres em fósforo, como é o caso da maioria das espécies de *Eucalyptus*, parecem ser pouco eficientes na absorção de fósforo, mas muito eficientes na sua utilização (Luca et al., 2002).

Utilizando o teste de identidade de modelo (variáveis binárias), os genótipos aqui cultivados nas duas doses de P (0 e 80 mg dm⁻³), são estatisticamente diferentes para eficiência de utilização de fósforo, ao nível de 1 % de probabilidade, sendo representados por diferentes equações de regressão que melhor se ajustaram aos genótipos (Figura 14).

A maior eficiência de utilização de fósforo foi demonstrada pela maior produção de massa seca acumulada, obtendo uma correlação positiva ($r=0,95^{**}$). Sendo assim, a produção de massa seca acumulada na planta demonstra ser um bom parâmetro viável para explicar a eficiência de utilização de fósforo. Para Furlani et al. (2002), cultivares eficientes e responsivos à aplicação de fósforo no solo apresentam maiores valores para massa seca da parte aérea e da planta total.



Parâmetro α

O desempenho dos genótipos testados quanto à produção de massa seca total na menor dose de fósforo avaliada (0 mg dm^{-3}), o parâmetro α (que representa a resposta dos genótipos à adubação fosfatada) e a classificação dos genótipos, estão representados na Figura 15. Os genótipos LCTEEN-37A x Catongo e AMAZ-15 x Catongo comportaram-se como eficientes e responsivos (ER). Já o COCA 3370/5 x Catongo como NER e CCN-51 x Catongo e Catongo comportaram-se como NENR. Os genótipos eficientes e responsivos (ER), como LCTEEN-37A x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, foram os que mais produziram em condições de baixa dose de fósforo e também responderam bem ao incremento deste elemento no substrato. O não-eficiente e responsivo (NER), como o COCA 3370/5 x Catongo, embora tenham respondido bem ao incremento de fósforo, não alcançaram a produção de massa seca dos genótipos ER em baixa dose deste elemento. Os genótipos não-eficientes e não - responsivos (NENR), como CCN-51 x Catongo e Catongo, produziram pouca massa seca da parte aérea em ambas as situações.

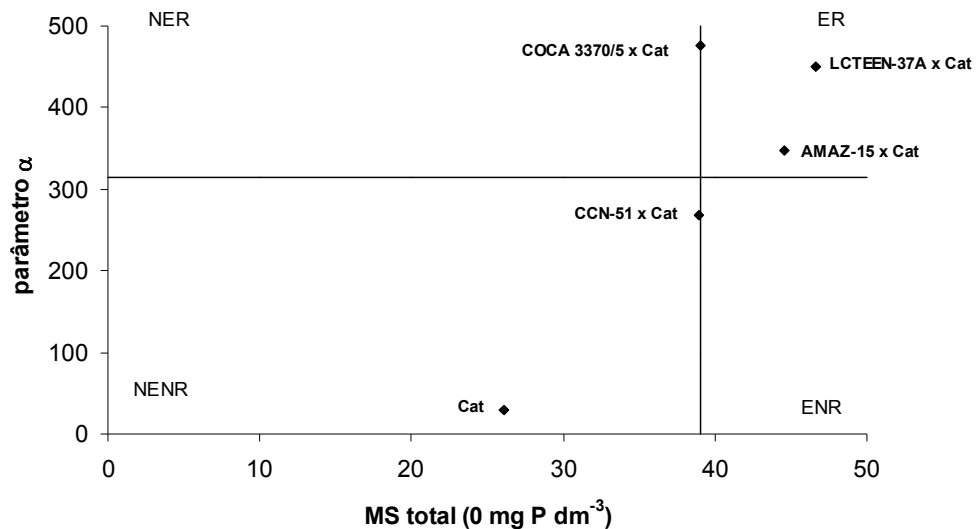


Figura 15. Classificação de genótipos quanto à eficiência de uso de P e à resposta à adubação. ER = eficiente e responsivo; ENR = eficiente e não-responsivo; NER = não-eficiente e responsivo e NENR = não-eficiente e não-responsivo.

A classificação do CCN-51 x Catongo de acordo com a Figura 15, que é contrastante com os dados de produção de sementes secas, reafirma o que foi sugerido no parágrafo anterior, onde se aventa a possibilidade de maior eficiência para o crescimento vegetativo.

Espera-se que, entre as características consideradas favoráveis em um genótipo de cacaueteiro eficiente na utilização de P, incluem-se a translocação de P das raízes para os tecidos em crescimento, a remobilização de nutrientes das folhas senescentes antes de sua abscisão e um desenvolvimento reprodutivo adequado para que a maior quantidade possível de fósforo seja utilizada no seu desenvolvimento e produção de amêndoas.

Os genótipos LCTEEN-37A x Catongo e AMAZ-15 x Catongo, classificados como ER possuem um potencial de produção para futuras indicações em solos com baixa disponibilidade de fósforo, pois genótipos eficientes e responsivos produzem bem em condições de baixo nível de fósforo, respondendo bem quando se fornece o nutriente (Fageria e Baligar, 1997).

Ressalta-se a necessidade de ampliar o estudo em plantas em idade produtiva, uma vez que o fósforo é um elemento importante na fase de floração e frutificação.

CONCLUSÕES

- 1- O genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior incremento de biomassa no período estudado;
- 2- O Catongo obteve baixa produção de biomassa, não respondendo à adubação fosfatada;
- 3- O LCTEEN-37A x Catongo e o Catongo apresentaram maior e menor área foliar, respectivamente;
- 4- O AMAZ-15 x Catongo e o LCTEEN-37A x Catongo apresentaram maior área radicular, maior absorção e influxo de fósforo, dentre os genótipos estudados;

- 5- A taxa assimilatória líquida foi maior para o Catongo;
- 6- O COCA 3370/5 x Catongo foi o genótipo mais eficiente em aproveitar o fósforo do solo;
- 7- Os genótipos eficientes e responsivos ao fósforo foram o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, não sendo influenciados pelas características do Catongo que foi considerado não-eficiente e não-responsivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abichequer, A. D.; Bohnen, H., Anghinoni, I. (2003) Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. *R. Bras. Ci. Solo*, 27: 373-378.

Almeida, A. A. F., Valle, R. R. (1988) Análise de crescimento de dez cacaueiros híbridos. *R. Theobroma*, 18: 95-114.

Almeida, A. A. F.; Valle, R. R., Pereira, M. G. (1987) Avaliação do potencial de produção do cacaueiro com base no acúmulo de matéria seca de plantas jovens. *R. Theobroma*, 17(4): 219-232.

Araújo, A. P.; Teixeira, M. G., Almeida, D. L. (1998) Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. *Plant Soil*, 203(2): 173- 182.

Baligar, V. C.; Fageria, N. K., He, Z. L. (2001) Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32: 921-950.

Braga, J. M., De Felipo, B. V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*. 21:73-85.

Cabala Rosand, P., Mariano, A. H. (1985) Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20 (2): 159-167.

CIAT - Centro Internacional De Agricultura Tropical. (1978) *Programa de frijol*. Cali: CIAT: 12-13. (Informativo Anual).

Dechassa, N.; Schenk, M. K.; Claassen, N., Steingrobe, B. (2003) Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata), carrot (*Daucus tuberosum* L.). *Plant Soil*, 250: 215-224.

Draper, N., Smith, H. (1966) *Applied regression analysis*. New York: John Willey e Sons, 407p.

Elliott, G. C., Läuchli, A. (1985) Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. *Agron. J.*, Madison, 77(2): 399-403.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. (1997) Phosphorus use efficiency by corn genotypes. *J. Plant Nutr.*, 20:1267-1277.

Fageria, N. K.; Wright, R. J., Baligar, V. C. (1988) Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. *Plant Soil*, 111: 105-109.

Fernandes, A. C.; Morais, F. I. O.; Linhares, L. C. F., Silva, G. R. (2007) Produção de matéria seca e eficiência nutricional para P, Ca e Mg em leguminosas herbáceas. *Acta Amazonica*, 37(2): 169-176.

Fernandes, L. A.; Furtini Neto, A. E.; Fonseca, F. C., Do Vale, F. R. (2000) Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 35 (6):1191-1198.

Föhse, D.; Claassen, N., Jungk, A. (1988) Phosphorus efficiency of plants. I - External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil*, Netherlands, 110:101-109.

Föhse, D.; Claassen, N., Jungk, A. (1991) Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*, 132:261-272.

Furlani, A. M. C.; Furlani, P. R.; Tanaka, R. T.; Mascarenhas, H. A. A., Delgado, M. D. P. (2002) Variability of soybean germplasm in relation to phosphorus uptake and use efficiency. *Sci. agricola*, 59(3): 529-536.

Gomes, J. M.; Braga, J. M. F. (1992) SAEG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 100p.

Grant, C. A.; Flaten, D. N.; Tomaszewicz, D. J., Sheppard, S. C. (2001) A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. POTAFOS: Piracicaba-SP. P.1-5 (Informações agronômicas, 95).

Illenseer, R., Paulilo, M. T. S. (2002) Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* Mart. Sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. *Acta bot. bras.*, 16(4): 385-394.

Jarrel, W. M., Beverly, R. B. (1981) The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agronomy*, Madison, 34: 197-224.

Krasilnikoff, G.; Gahoonia, T. Nielsen, N. E. (2003) Variation in phosphorus uptake efficiency by genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata*) due to differences in root and root hair length and induced rhizosphere processes. *Plant Soil*, 251: 83-91.

Li, X. L.; George, E. Marschner, H. (1991) Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant Soil*, 136: 41-48.

Luca, E. F.; Boaretto, A. E.; Muraoka, T., Chitolina, J. C. (2002) Eficiência de absorção e utilização de fósforo (^{32}P) por mudas de eucalipto e arroz. *Sci. Agricola*, 59(3): 543-547.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic, 890p.

Morais, F. I.; Santana, C. J. L., Santana, M. B. M. (1978) Efeito da aplicação de calcário e fósforo no crescimento de plantas de cacau em casa de vegetação. *R. Theobroma*, 8:73-85.

Muchhal, U. S., Raghotama, K. G. (1999) Transcriptional regulation of plant phosphate transporters. *Proceedings of the National Academy of Science*, Washington, 96: 5868-5872.

- O' Toole, J. C., Bland, W. L. (1987) Genotypic variation in crop plant root systems. *Adv. Agronomy*, New York, 41(1): 91-145.
- Radford, P. J. (1967) Growth analysis formulae - their use and abuse. *Crop Science*, Madison, 7(3): 171-5.
- Radosevich, S.; Holt, J., Ghera, C. (1997) *Weed ecology*. 2.ed. New York: Wiley, 588 p.
- Raghothama, K. G. (1999) Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, 50:665-693.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N.; Muniz, J. A., Faria, M. R. (2000) Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 24(1): 160-173.
- Siddiqi, M. Y., Glass, A. D. M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutrition*. 4(3): 289-302.
- Smith, F. W. (2002). The phosphate uptake mechanism. *Plant Soil*, 245: 105-114.
- Smith, S. E.; Robson, A. D., Abbott, L. K. (1992) The involvement of mycorrhizas in assessment of genetically dependent efficiency of nutrient uptake and use. *Plant Soil*, 146(2): 169- 179.
- Souza, C. A. S., Dias, L. A. S. (2001) Melhoramento ambiental e socioeconomia. In.: DIAS, L.A.S. (Ed.) Melhoramento genético do cacauero. Viçosa, FUNAPE, UFG, p.1-47.
- Swiader, J. M.; Chyan, Y., Freiji, F. G. (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nut.* 17:1687-1699.
- Vilela, L., Anghinoni, I. (1984) Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetada pela interação alumínio-fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:91-96.

Walk, T. C.; Jamarillo, R, Lynch, J. P. (2006) Architectural tradeoffs between adventitious and basal roots for phosphorus acquisition. *Plant Soil*, 279: 347-366.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O trabalho foi realizado no viveiro da Mars Centro de Ciência do Cacau, Barro Preto – BA, em duas etapas. Na primeira etapa foi instalado um experimento com o objetivo de verificar a resposta de plantas de cacauzeiro a diferentes doses de fósforo (P), em dois tipos de solo, utilizados como substrato: o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Cambissolo Eutrófico (Cam). Utilizaram-se dois genótipos (CCN-51 e VP-01) e seis doses de fósforo: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 2 x 2 com 8 repetições. O CCN-51 é um clone derivado do cruzamento de (ICS-95 x IMC-67) x Canelos e o VP-01 é proveniente da população de cacauzeiros descendentes do Catongo. O P foi dosado por espectrofotometria e os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando-se equações de regressão em função das doses de P aplicadas no solo. As plantas foram cultivadas por 180 dias, avaliando-se a produção de biomassa, nível crítico de P no solo e na folha, conteúdo de P e eficiência de absorção, translocação e utilização de P pelo cacauzeiro. Este primeiro experimento teve por finalidade estabelecer as doses correspondentes a 90% da produção máxima. Houve maior incremento de massa seca da parte aérea, raiz e planta total quando desenvolvidas no Cam. A dose de fósforo aplicada que correspondeu a 90% da produção máxima da massa seca total do CCN-51 e VP-01 no Cam e no LVA, respectivamente foi 80 mg P dm⁻³. O nível crítico de fósforo na folha em ambos os genótipos foi de 1,17 g kg⁻¹ no LVA e de 1,57 e 1,44 g kg⁻¹ para o CCN-51 e o VP-01 presentes no Cam. As plantas desenvolvidas no LVA acumularam menor quantidade do P, comparado ao Cam.

Com o aumento das doses de P no solo, houve redução da eficiência de utilização de P pelos genótipos. Concluiu-se que Houve diferença de resposta ao fósforo entre os genótipos CCN-51 e o VP-01 e entre os solos, LVA e Cam. O maior P-remanescente presente no Cam favoreceu maior acúmulo de fósforo no cacauzeiro. O nível crítico no solo e na folha variou com o tipo de solo e genótipo. O aumento das doses de P favoreceu a maior eficiência de absorção de P pelas raízes de CCN-51 e VP-01, em ambos os solos. O CCN-51 e o VP-01 foram mais eficientes em translocar o fósforo para a parte aérea quando presentes no Cam com maior P-remanescente. Houve redução da eficiência de utilização de P pelos genótipos estudados, com adição de doses de fósforo no solo. Na segunda etapa, com base no valor médio da dose que correspondeu a 90 % da produção máxima (80 mg P dm^{-3}), implantou-se um experimento visando avaliar cinco genótipos quanto à eficiência na absorção, translocação e utilização de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram utilizados genótipos provenientes de sementes produzidas por polinização manual controlada do cruzamento de cinco clones de cacauzeiro, sendo que no cruzamento, o “Catongo”, considerado o pai e o CCN-51, COCA 3370/5, LCTEEN-37A e AMAZ-15 como as mães dos genótipos. Esses genótipos foram submetidos a duas doses de fósforo (0 e 80 mg dm^{-3}), sendo avaliados em cinco épocas de amostragens (0, 60, 120, 180 e 240 dias após o transplante), no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial $5 \times 2 \times 5$ com 7 repetições, totalizando 350 unidades experimentais. A produção de massa seca da parte aérea, raiz e planta total foram superiores na dose 80 mg P dm^{-3} comparados à baixa disponibilidade de P (0 mg dm^{-3}). O LCTEEN-37A x Catongo foi o que apresentou na baixa dose de P (0 mg dm^{-3}) melhor desenvolvimento de área foliar aos 240 dias após o transplante. Nessa mesma época, o AMAZ-15 x Catongo apresentou maior área de raiz na baixa disponibilidade de P. O LCTEEN-37A x Catongo foi o genótipo com maior taxa de crescimento relativo (TCR) nas duas doses de P. Em ambas as doses, o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior acumulação de fósforo na parte aérea e planta total em relação aos genótipos avaliados aos 120 e 150 dias após o transplante. O CCN-51 x Catongo inicialmente apresentou maior taxa de influxo, reduzindo em torno de 15 dias quando submetido à dose 0 mg P dm^{-3} e 45 dias na dose 80 mg P dm^{-3} . Em geral, todos os genótipos mostraram maior translocação de fósforo com o aumento da concentração deste elemento no solo.

Os genótipos eficientes e responsivos ao fósforo foram o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, não sendo influenciados pelas características do Catongo que foi considerado não eficiente e não responsivo. Concluiu-se que o genótipo LCTEEN-37A x Catongo apresentou maior incremento de biomassa no período estudado. O Catongo obteve baixa produção de biomassa, não respondendo à adubação fosfatada. O LCTEEN-37A x Catongo e o Catongo apresentaram maior e menor área foliar, respectivamente. O AMAZ-15 x Catongo e o LCTEEN-37A x Catongo apresentaram maior área radicular, maior absorção e influxo de fósforo, dentre os genótipos estudados. A taxa assimilatória líquida foi maior para o Catongo. O COCA 3370/5 x Catongo foi o genótipo mais eficiente em aproveitar o fósforo do solo. Os genótipos eficientes e responsivos ao fósforo foram o LCTEEN-37A x Catongo e o AMAZ-15 x Catongo, não sendo influenciados pelas características do Catongo que foi considerado não eficiente e não responsivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akinrinde, E. A., Gaizer, T. (2006). Differences in the performance and phosphorus-use efficiency of some tropical rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5 (3): 206-211.

Araújo, A. P., Machado, C. T. T. (2006) Fósforo. *In: Fernandes, M. S. (org) Nutrição Mineral de Plantas*. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 254-280.

Baligar, V. C., Fageria, N. K. (1997). Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. *In: Moniz, A. C.; Furlani, A. M. C.; Schaffert, R. E.; Fageria, C. A., Cantarella, H. Plant-Soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. (eds.). Viçosa: Brazilian Soil Science Society, p. 75-95.

Baligar, V. c., Fageria, N. K. (1999). Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. *In: Siqueira, J. O., Moreira, F. M. S., Lopes, A. S., Guilherme, L. R. S., Faquin, V., Furtini Neto, A. E., Carvalho, J. G. Soil fertility, soil biology and plant nutrition*. (eds). Lavras: Brazilian Soil Science Society/ UFLA, p. 183-204.

Baligar, V. C.; Fageria, N. K., He, Z. L. (2001) Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32: 921-950.

Barry Callebaut (2007) Cocoa Market Report

Blair, G. (1993). Nutrient efficiency – what do we really mean? In: Randall, P. J.; Delhaitze, E.; Richards, R. A., Munns, R. ed. *Genetic aspects of plants mineral nutrition*. Dordrecht: Klumer Academic. p. 205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).

Cabala-Rosand, P., Mariano, A. H. (1985) Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20 (2): 159-167.

Cabala-Rosand, P., Santana, M. B. M. (1971). *Capacidade de fixação do fósforo pelos solos das regiões cacauceiras da Bahia e Espírito Santo*. Itabuna, Ba: CEPEC, p. 123-124. (Informe Técnico 1968/1969).

Cabala-Rosand, P.; Santana, C. J. L., Miranda, E. R. (1982) Respostas de cacauceiros “Catongo” a doses de fertilizantes no Sul da Bahia, Brasil. *R. Theobroma*, 12(4): 203-216.

Campos, A. X. (1982) *Avaliação da fertilidade de solos cacauceiros da Amazônia*. Belém: CEPLAC/ DEPEA. 17 p. (Comunicado Técnico, 22).

CEPLAC. (2007) Características gerais do cacau: <http://www.ceplac.gov.br/radar/cacau.htm> em 15/12/07 página mantida pela CEPLAC.

Dantas, J. S.; Salcedo, I. H.; Fraga, V. S., Maia, E. L. (2006) Crescimento inicial de duas leguminosas arbóreas forrageiras controladas pela disponibilidade de água e nutrientes. *R. Bras. Ci. Agrárias*, 1: 7-12.

Dantas Neto, A., Corrêa, R. X., Monteiro, W. R., Luz, E. D. M. N., Gramacho, K. P., Lopes, U. V. (2005). Caracterização de uma população de cacauceiro para mapeamento de genes de resistência à vassoura-de-bruxa e podridão-parda. *Fitopatol. Bras.*, 30(4): 380-386.

Dechassa, N.; Schenk, M. K.; Claassen, N., Steingrobe, B. (2003) Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata), carrot (*Daucus tuberosum* L.). *Plant and Soil*, 250: 215-224.

Del Quiqui, E. M.; Martins, S. S.; Pintro, J. C.; Andrade, P. J. P., Muniz, A. S. (2004). Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto cultivadas sob condições de diferentes fontes de fertilizantes. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 26 (3): 293-299.

Fageria, N. K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 2: 6-16.

Furtini Neto, A. E.; Barros, N. F.; Godoy, M. F., Novais, R. F. (1996) Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. *R. Árvore*, 20(1):17-28.

Gramacho, I. C. P., Magno, A. E. S., Mandarino, E. P., Matos, A. (1992). *Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia*. 1. ed. Ilhéus: CEPLAC, 124p.

Illenseer, R., Paulilo, M. T. S. (2002) Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* Mart. Sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. *Acta bot. bras.*, 16(4): 385-394.

Krasilnikoff, G.; Gahoonia, T., Nielsen, N. E. (2003) Variation in phosphorus uptake efficiency by genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata*) due to differences in root and root hair length and induced rhizosphere processes. *Plant and Soil*, 251: 83-91.

Luca, E. F.; Boaretto, A. E.; Muraoka, T., Chitolina, J. C. (2002) Eficiência de absorção e utilização de fósforo (^{32}P) por mudas de eucalipto e arroz. *Scientia Agricola*, 59(3): 543-547.

Morais, F. I. O.; Santana, C. J. L., Santana, M. B. M. (1978) Efeito da aplicação de calcário e fósforo no crescimento de plantas de cacau em casa de vegetação. *R. Theobroma*, Brasil, 8: 73-85.

Morais, F. I. O., Santana, M. B. M., Santana, C. J. L. (1981). *Nutrição mineral e adubação do cacau*. Belém: CEPLAC/ DEPEA/ COPES. 46p. (Comunicado Técnico, 18)

Morais, F. I. O., Pereira, G. C. (1986). Resposta do cacauero à aplicação de fertilizantes e corretivos nas condições da Amazônia. I. Crescimento e produção inicial. *R. Theobroma*, 16(2): 65-73.

Nakayama, L. H. I, Soares, M. K. M., Appezzato-da-Gloria, B. (1996). Contribuição ao estudo anatômico da folha e do caule do cacauero (*Theobroma cacao* L.). *Sci. Agric.*, 53(1):73-73.

Novais, R. F., Smith, T. J. (1999) *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. 1 ed. Viçosa: DPS/UFV, 399p.

Oliveira, M. L., Luz, E. D. M. N. (2005). *Identificação e manejo das principais doenças do cacauero no Brasil*. 1. ed. Ilhéus: CEPLAC/ CEPEC/ SEFIT, 132p.

Pacheco, R. G.; Furtado, A. A. De A.; Sodré, G. A.; Marrocos, P. C. L.; Chepote, R. E., Quintino, R. A. *Produção de matéria seca e eficiência de absorção de fósforo por clones de cacaueros aos oito meses de idade*: http://www.ceplac.gov.br/radar/rogerio_gama_pacheco.pdf em 06/03/07 página mantida pela CEPLAC.

Raghothama, K. G., Karthikeyan, A. S. Phosphate acquisition. (2005) *Plant Soil*, v. 274: 37-49.

Raghothama, K. G. (1999) Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, 50:665-693.

Resende, A.V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N.; Muniz, J. A., Faria, M. R. (2000) Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 24(1): 160-173.

Sodré, G. A. (2007) A espécie *Theobroma cacao*: novas perspectivas para multiplicação de cacauero. *R. Bras. Frutic.*, 29(2):0-0.

Souza, C. A. S., Dias, L. A. S. (2001) Melhoramento ambiental e socioeconomia. In.: DIAS, L.A.S. (org.) *Melhoramento genético do cacauero*. 1. ed. Viçosa, FUNAPE, UFG, p.1-47.

Walk, T. C.; Jamarillo, R., Lynch, J. P. (2006) Architectural tradeoffs between adventitious and basal roots for phosphorus acquisition. *Plant and Soil*, 279: 347-366.

Wissuwa, M. (2005). Combining a modeling with a genetic approach in establishing associations between genetic and physiological effects in relation to phosphorus uptake. *Plant Soil*, 269: 57-68.

APÊNDICE A

Tabela 1A. Média de massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR), planta total (MST) e área radicular (AR) de dois genótipos de cacaueteiro (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas

| MSPA | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|-------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 12,34 | 9,38 | 24,20 | 23,66 |
| 50 | 14,25 | 13,49 | 27,58 | 26,07 |
| 100 | 14,31 | 13,05 | 22,74 | 24,41 |
| 200 | 13,83 | 14,94 | 23,66 | 23,34 |
| 300 | 14,28 | 10,05 | 22,34 | 22,17 |
| 400 | 9,68 | 9,64 | 16,33 | 14,94 |

| MSR | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|-------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 5,35 | 4,18 | 8,96 | 9,21 |
| 50 | 6,31 | 5,23 | 10,64 | 10,40 |
| 100 | 4,78 | 4,94 | 8,72 | 8,85 |
| 200 | 4,63 | 3,88 | 7,78 | 7,17 |
| 300 | 3,92 | 3,03 | 7,34 | 6,42 |
| 400 | 2,56 | 2,57 | 4,47 | 4,81 |

| MST | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|-------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 17,69 | 15,18 | 33,16 | 32,87 |
| 50 | 20,56 | 18,72 | 38,60 | 36,48 |
| 100 | 19,09 | 17,99 | 31,58 | 33,26 |
| 200 | 18,46 | 18,82 | 31,44 | 30,01 |
| 300 | 18,20 | 13,08 | 29,68 | 28,59 |
| 400 | 12,24 | 12,21 | 20,80 | 19,76 |

| AR | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|--------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 59,40 | 44,77 | 104,79 | 107,84 |
| 50 | 71,44 | 57,97 | 125,84 | 122,88 |
| 100 | 52,24 | 54,25 | 101,72 | 103,41 |
| 200 | 50,43 | 40,97 | 89,91 | 82,25 |
| 300 | 41,50 | 30,31 | 84,43 | 72,83 |
| 400 | 24,41 | 24,50 | 48,42 | 52,69 |

Tabela 2A. Conteúdo de P da parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (PPL) de dois genótipos de cacaueteiro (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas

| PPA | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|--------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 10,63 | 8,37 | 45,36 | 46,34 |
| 50 | 22,99 | 22,09 | 71,26 | 65,63 |
| 100 | 27,35 | 25,49 | 71,60 | 69,50 |
| 200 | 32,41 | 33,15 | 85,17 | 74,96 |
| 300 | 43,08 | 28,26 | 109,81 | 87,11 |
| 400 | 46,11 | 39,15 | 96,98 | 68,30 |
| PRA | | | | |
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 5,99 | 5,15 | 15,75 | 17,30 |
| 50 | 9,39 | 8,24 | 25,57 | 25,22 |
| 100 | 8,12 | 8,51 | 24,48 | 23,55 |
| 200 | 9,03 | 7,51 | 27,49 | 22,13 |
| 300 | 9,41 | 6,88 | 32,11 | 22,79 |
| 400 | 8,61 | 6,83 | 21,55 | 19,94 |
| PPL | | | | |
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 16,62 | 13,52 | 61,11 | 63,64 |
| 50 | 32,38 | 30,33 | 96,83 | 90,86 |
| 100 | 35,47 | 34,00 | 96,08 | 93,05 |
| 200 | 41,45 | 40,66 | 112,66 | 97,10 |
| 300 | 52,49 | 35,14 | 141,92 | 109,90 |
| 400 | 54,72 | 45,98 | 118,53 | 88,24 |

Tabela 3A. Eficiência de absorção de P com base na MS da raiz (EAP)¹, eficiência de absorção de P com base na área radicular (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização de P (EUP) de dois genótipos de cacauero (CCN-51 e VP-01) desenvolvido em dois tipos de solo (LVA e Cam) em função das doses de P aplicadas

| EAP ¹ | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------|-------|
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 3,15 | 3,28 | 6,88 | 7,08 |
| 50 | 5,29 | 6,23 | 9,37 | 9,03 |
| 100 | 7,59 | 7,16 | 11,16 | 10,69 |
| 200 | 9,07 | 10,63 | 15,13 | 13,88 |
| 300 | 13,77 | 11,80 | 19,96 | 17,27 |
| 400 | 21,64 | 18,77 | 27,34 | 24,08 |
| EAP | | | | |
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 0,29 | 0,31 | 0,59 | 0,61 |
| 50 | 0,47 | 0,58 | 0,80 | 0,77 |
| 100 | 0,70 | 0,66 | 0,96 | 0,92 |
| 200 | 0,84 | 1,01 | 1,32 | 1,22 |
| 300 | 1,33 | 1,20 | 1,75 | 1,53 |
| 400 | 2,31 | 2,08 | 2,57 | 1,67 |
| ETP | | | | |
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 63,33 | 61,62 | 74,06 | 72,82 |
| 50 | 70,95 | 71,70 | 73,45 | 72,04 |
| 100 | 76,84 | 73,51 | 74,08 | 74,25 |
| 200 | 78,13 | 81,17 | 75,53 | 76,82 |
| 300 | 82,35 | 80,34 | 77,05 | 78,96 |
| 400 | 83,82 | 84,72 | 81,31 | 77,01 |
| EUP | | | | |
| Doses P (mg dm ⁻³) | Latossolo Amarelo Vermelho | | Cambissolo Eutrófico | |
| | CCN-51 | VP-01 | CCN-51 | VP-01 |
| 0 | 19,07 | 18,04 | 18,09 | 17,09 |
| 50 | 13,35 | 12,02 | 15,61 | 14,92 |
| 100 | 10,43 | 9,95 | 10,50 | 12,14 |
| 200 | 8,42 | 8,98 | 8,89 | 9,50 |
| 300 | 6,47 | 4,98 | 6,31 | 7,57 |
| 400 | 2,84 | 3,30 | 3,73 | 4,50 |

Tabela 4A. Resumo da análise de variância dos dados de produção de massa seca na parte aérea (MSPA), raiz (MSR), total (MST), conteúdo de P na parte aérea (PPA), raiz (PRA), total P (PPL), área radicular (AR), eficiência de absorção com base na MS raiz (EAP)¹, eficiência de absorção com base na AR (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização (EUP) de P do cacauero, submetido a diferentes doses de fósforo

| FV | GL | QM | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|---------|----------|----------|
| | | MSPA | MSR | MST | RPA | AR | PPA | PRA | PPL | EAP ¹ | EAP | ETP | EUP |
| Bloco | 7 | 8,15 | 5,59 | 13,97 | 0,018 | 882,46 | 481,39 | 44,25 | 572,29 | 21,21 | 0,2520 | 111,27 | 20,07 |
| Doses (D) | 5 | 224,67** | 80,10** | 552,14** | 0,102** | 12632,25** | 6419,18** | 197,44** | 8168,60** | 1150,41** | 12,52** | 840,34** | 874,43** |
| Genótipos (G) | 1 | 36,00** | 7,57** | 70,53** | 0,000041ns | 1194,81* | 2971,63** | 183,22** | 4630,62** | 88,91** | 0,62* | 11,76ns | 0,17ns |
| Solos (S) | 1 | 4976,60** | 627,50** | 8961,09** | 0,000012ns | 98957,55** | 101923,2** | 11310,02** | 181137,6** | 755,42** | 2,82** | 0,40ns | 40,19** |
| D x G | 5 | 8,63* | 1,65ns | 11,81ns | 0,0056ns | 260,99ns | 536,91** | 44,28** | 799,39** | 49,29** | 0,44** | 17,44ns | 4,96ns |
| D x S | 5 | 55,93** | 7,11** | 96,73* | 0,0092ns | 1122,16** | 665,80** | 69,42** | 130,39** | 10,28ns | 0,21ns | 276,06** | 10,60* |
| G x S | 1 | 11,50ns | 2,36ns | 11,69ns | 0,00074ns | 372,64ns | 595,34* | 24,61ns | 862,08* | 40,64* | 0,46ns | 0,52ns | 11,62ns |
| D x G x S | 5 | 11,83** | 0,65ns | 10,92ns | 0,0073ns | 102,93ns | 155,49ns | 22,69ns | 206,77ns | 11,64ns | 0,13ns | 24,93ns | 2,69ns |
| Resíduo | 161 | 3,76 | 1,37 | 5,35 | 0,0057ns | 216,73 | 148,09 | 13,83 | 171,07 | 9,99 | 0,13 | 26,87 | 4,43 |
| Total | 191 | | | | | | | | | | | | |
| C. V. (%) | | 11,07 | 19,25 | 9,77 | 21,78 | 21,42 | 23,72 | 24,02 | 19,58 | 26,69 | 32,77 | 6,85 | 20,49 |

** e * - significativos aos níveis de 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo.

Tabela 5A. Características químicas e físicas das amostras de solos usadas no do experimento na profundidade de 5 a 30 cm

| Característica | Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) | Cambissolo (Cam) |
|--|----------------------------------|------------------|
| Análise textural (dag kg ⁻¹) | | |
| areia grossa (dag kg ⁻¹) | 35 | 44 |
| areia fina (dag kg ⁻¹) | 11 | 19 |
| Silte (dag kg ⁻¹) | 9 | 22 |
| Argila (dag kg ⁻¹) | 45 | 15 |
| θ_{cc} (kg kg ⁻¹) | 0,222 | 0,150 |
| θ_{pmp} (kg kg ⁻¹) | 0,171 | 0,078 |
| Massa específica solo (g cm ⁻³) | 1,02 | 2,68 |
| Massa específica partículas (g cm ⁻³) | 1,31 | 2,77 |
| pH em água (1: 2,5) | 4,70 | 6,51 |
| P (mg dm ⁻³) | 1,9 | 5,6 |
| P-rem (mg L ⁻¹) | 38,2 | 47,5 |
| K (mg dm ⁻³) | 55 | 20 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,24 | 6,58 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,52 | 3,38 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,55 | 0,00 |
| H + Al (cmol _c dm ⁻³) | 7,4 | 1,7 |
| SB (cmol _c dm ⁻³) | 0,90 | 10,01 |
| t (cmol _c dm ⁻³) | 1,45 | 10,01 |
| T (cmol _c dm ⁻³) | 8,30 | 11,71 |
| V (%) | 10,8 | 85,5 |
| m (%) | 37,9 | 0,00 |
| MO (dag kg ⁻¹) | 3,17 | 2,03 |
| Fe (mg dm ⁻³) | 21,1 | 52,8 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 9,9 | 19,2 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 39,55 | 11,98 |
| Cu (mg dm ⁻³) | 4,24 | 2,61 |

⁽¹⁾ Método da Proveta (Ruiz, 2003); ⁽²⁾ Método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997); Ca, Mg e Al – Extrator KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; SB - Soma de bases trocáveis; (t) – Capacidade de troca catiônica efetiva; (T) – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – Índice de saturação por bases; m – Índice de saturação por alumínio; MO – método de Walkley-Black; P-rem – Fósforo remanescente.

APÉNDICE B

Tabela 1B. Média de massa seca acumulada na parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e planta total (MST) nas doses de 0 e 80 mg P dm⁻³ de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens

| Época amostragem (Dias) | MSPA | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 0,32 | 0,32 | 0,22 | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,22 |
| 60 | 2,19 | 2,18 | 2,54 | 2,82 | 2,59 | 2,66 | 2,52 | 2,47 | 1,81 | 2,06 |
| 120 | 5,99 | 8,76 | 6,57 | 10,75 | 6,13 | 9,80 | 6,50 | 8,70 | 6,14 | 7,54 |
| 180 | 9,93 | 16,56 | 15,41 | 19,12 | 12,91 | 21,46 | 14,35 | 17,36 | 10,33 | 11,72 |
| 240 | 27,99 | 44,51 | 35,43 | 59,29 | 28,12 | 56,99 | 32,16 | 54,41 | 20,03 | 21,81 |

| Época amostragem (Dias) | MSR | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|------|------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 0,14 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 60 | 1,36 | 1,26 | 1,04 | 1,14 | 1,03 | 1,36 | 1,03 | 0,86 | 0,67 | 0,77 |
| 120 | 2,98 | 3,74 | 2,45 | 3,80 | 2,42 | 3,80 | 2,77 | 3,65 | 1,96 | 2,31 |
| 180 | 4,84 | 7,25 | 6,36 | 6,99 | 5,93 | 7,56 | 5,60 | 7,15 | 2,65 | 4,02 |
| 240 | 10,96 | 15,86 | 11,19 | 23,40 | 10,87 | 20,09 | 12,38 | 17,90 | 6,32 | 6,26 |

| Época amostragem (Dias) | MST | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 0,46 | 0,46 | 0,32 | 0,32 | 0,37 | 0,37 | 0,32 | 0,32 | 0,31 | 0,31 |
| 60 | 3,55 | 3,44 | 3,58 | 3,97 | 3,62 | 4,03 | 3,55 | 3,33 | 2,48 | 2,83 |
| 120 | 8,98 | 12,49 | 9,01 | 14,55 | 8,55 | 13,60 | 9,27 | 12,35 | 8,10 | 9,85 |
| 180 | 14,78 | 23,80 | 21,76 | 26,11 | 18,84 | 29,02 | 19,96 | 24,51 | 12,97 | 15,74 |
| 240 | 38,94 | 60,38 | 46,63 | 82,69 | 38,99 | 77,08 | 44,54 | 72,32 | 26,35 | 28,07 |

Tabela 2B. Resumo da análise de variância dos dados de massa seca acumulada na parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e planta total (MST) de genótipos de cacauero, submetido a doses de P e cinco épocas de amostragens

| FV | GL | QM | | |
|---------------|-----|-------------|--------------|-------------|
| | | lnMSPA | lnMSR | lnMST |
| Bloco | 6 | 0,026 | 0,030 | 0,021 |
| Doses (D) | 1 | 4,9114** | 3,8671** | 4,5802** |
| Genótipos (G) | 4 | 1,4104** | 3,7809** | 1,8712** |
| Épocas (E) | 4 | 257,2702** | 241,7817** | 252,6598** |
| D x G | 4 | 0,1363** | 0,1072** | 0,1218** |
| D x E | 4 | 0,7203** | 0,5694** | 0,6737** |
| G x E | 1 | 0,2914** | 0,3150** | 0,2673** |
| D x G X E | 16 | 0,0587** | 0,1022** | 0,0556** |
| Resíduo | 294 | 0,0129 | 0,0198 | 0,0095 |
| Total | 349 | ----- | ----- | ----- |
| CV (%) | | 7,36 | 23,32 | 5,19 |

** e * - significativos aos níveis de 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F; ns – não significativo.

Tabela 3B. Área foliar (AF) ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) e área radicular (AR) ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) nas doses de 0 e 80 mg P dm^{-3} de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens

| Época amost. (Dias) | AF | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------|---------------------|---------|----------------------|---------|---------------|---------|--------|--------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 88,44 | 88,44 | 71,41 | 71,41 | 83,96 | 83,96 | 70,07 | 70,07 | 75,44 | 75,44 |
| 60 | 292,78 | 291,28 | 302,26 | 336,41 | 336,33 | 335,88 | 283,96 | 299,87 | 247,8 | 260,6 |
| 120 | 618,44 | 1098,08 | 737,15 | 1290,90 | 728,19 | 1244,43 | 758,44 | 1015,15 | 392,5 | 592,7 |
| 180 | 1064,38 | 1745,52 | 1359,79 | 2411,10 | 1394,08 | 2321,45 | 1450,18 | 1891,64 | 641,9 | 875,9 |
| 240 | 2945,58 | 5833,27 | 3225,14 | 6660,53 | 2752,90 | 5813,92 | 2570,09 | 3181,43 | 1568,2 | 1646,4 |
| | AR | | | | | | | | | |
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| | 1,59 | 1,59 | 1,63 | 1,63 | 1,48 | 1,48 | 1,59 | 1,59 | 1,66 | 1,66 |
| 60 | 10,57 | 11,08 | 7,56 | 8,43 | 7,14 | 11,92 | 7,69 | 5,67 | 5,90 | 6,54 |
| 120 | 39,27 | 46,91 | 33,87 | 51,85 | 41,46 | 60,05 | 43,34 | 59,89 | 33,45 | 47,78 |
| 180 | 75,90 | 100,08 | 94,18 | 100,07 | 82,83 | 107,74 | 87,12 | 110,30 | 59,67 | 70,09 |
| 240 | 236,18 | 297,60 | 291,23 | 386,12 | 288,65 | 344,82 | 229,98 | 312,90 | 92,78 | 90,23 |

Tabela 4B. Valores médios de conteúdo P acumulado na parte aérea (PPA), raiz (PR) e planta total (PPT) nas doses de 0 e 80 mg P dm⁻³ de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens

| Época amostragem (Dias) | PPA | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 2,82 | 2,82 | 1,67 | 1,67 | 2,30 | 2,30 | 2,13 | 2,13 | 1,40 | 1,40 |
| 60 | 4,74 | 5,31 | 4,14 | 5,99 | 4,25 | 5,53 | 4,48 | 6,19 | 3,14 | 4,30 |
| 120 | 6,24 | 12,74 | 5,53 | 13,02 | 5,53 | 11,72 | 6,27 | 10,85 | 4,63 | 7,81 |
| 180 | 9,15 | 18,13 | 13,50 | 23,34 | 9,15 | 26,70 | 11,20 | 18,92 | 7,89 | 11,83 |
| 240 | 20,40 | 55,95 | 24,64 | 72,29 | 22,28 | 57,96 | 23,79 | 56,47 | 10,88 | 21,60 |

| Época amostragem (Dias) | PR | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 0,80 | 0,80 | 0,43 | 0,43 | 0,36 | 0,36 | 0,27 | 0,27 | 0,71 | 0,71 |
| 60 | 3,92 | 4,95 | 2,65 | 4,01 | 2,77 | 4,77 | 2,81 | 2,90 | 1,77 | 2,36 |
| 120 | 4,24 | 6,60 | 3,47 | 6,22 | 3,79 | 6,68 | 3,81 | 6,54 | 2,48 | 3,69 |
| 180 | 6,19 | 12,79 | 8,62 | 12,61 | 8,29 | 14,56 | 8,43 | 13,50 | 3,18 | 6,53 |
| 240 | 16,97 | 34,41 | 16,05 | 53,92 | 16,31 | 49,35 | 18,17 | 43,08 | 9,12 | 10,57 |

| Época amostragem (Dias) | PPT | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-------|------------------|--------|-------------------|--------|---------------|-------|-------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 3,62 | 3,62 | 2,1 | 2,1 | 2,66 | 2,66 | 2,40 | 2,40 | 2,11 | 2,11 |
| 60 | 8,66 | 10,26 | 6,79 | 10,00 | 7,02 | 10,30 | 7,29 | 9,09 | 4,91 | 6,66 |
| 120 | 10,48 | 19,34 | 9,00 | 19,24 | 9,32 | 18,40 | 10,08 | 17,39 | 7,11 | 11,50 |
| 180 | 15,34 | 30,92 | 22,12 | 35,95 | 17,44 | 41,26 | 19,63 | 32,42 | 11,07 | 18,36 |
| 240 | 37,07 | 90,36 | 40,69 | 126,21 | 38,59 | 107,31 | 41,96 | 99,55 | 20,00 | 32,17 |

Tabela 5B. Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo P acumulado parte aérea (PPA), raiz (PRA) e planta total (PPL) de genótipos de cacauero, submetido a doses de P e cinco épocas de amostragens

| FV | GL | QM | | |
|---------------|-----|-------------|--------------|-------------|
| | | lnPPA | lnPRA | lnPTOT |
| Bloco | 6 | 0,1138 | 0,0655 | 0,0672 |
| Doses (D) | 1 | 21,4162** | 16,1987** | 19,5241** |
| Genótipos (G) | 4 | 3,3424** | 3,6467** | 3,6475** |
| Épocas (E) | 4 | 75,2148** | 145,5356** | 91,4162** |
| D x G | 4 | 0,1338** | 0,1681* | 0,1448** |
| D x E | 4 | 2,2768** | 1,6215** | 1,9862** |
| G x E | 1 | 0,3535** | 1,5467** | 0,4055** |
| D x G x E | 16 | 0,0587ns | 0,1681** | 0,05643** |
| Resíduo | 294 | 0,03828 | 0,05437 | 0,02703 |
| Total | 349 | | | |
| CV (%) | | 9,51 | 16,54 | 6,55 |

** e * - significativos aos níveis de 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F; ns – não significativo.

Tabela 6B. Valores médios da eficiência de absorção de fósforo com base na massa seca acumulada raiz (EAP¹) e com base na área radicular (EAP) (mg g⁻¹), eficiência de translocação (ETP) (%) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) (g² mg⁻¹) nas doses de 0 e 80 mg P dm⁻³ de cinco genótipos de cacauero em diferentes épocas de amostragens

| Época amostragem (Dias) | EAP ¹ | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 26,36 | 26,36 | 21,69 | 21,69 | 26,47 | 26,47 | 26,16 | 26,16 | 24,37 | 24,37 |
| 60 | 6,55 | 8,17 | 6,63 | 9,05 | 6,88 | 7,66 | 7,07 | 10,72 | 7,41 | 8,78 |
| 120 | 3,63 | 5,35 | 3,70 | 5,10 | 3,86 | 4,87 | 3,58 | 4,79 | 3,63 | 5,07 |
| 180 | 3,16 | 4,24 | 3,47 | 5,10 | 2,94 | 5,34 | 3,49 | 4,52 | 4,17 | 4,54 |
| 240 | 3,43 | 5,69 | 3,64 | 5,43 | 3,55 | 5,40 | 3,39 | 5,59 | 3,18 | 5,20 |
| | EAP | | | | | | | | | |
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 2,28 | 2,28 | 1,29 | 1,29 | 1,80 | 1,80 | 1,51 | 1,51 | 1,27 | 1,27 |
| 60 | 0,82 | 0,93 | 0,90 | 1,19 | 0,98 | 0,86 | 0,95 | 1,60 | 0,83 | 1,02 |
| 120 | 0,27 | 0,41 | 0,27 | 0,37 | 0,22 | 0,31 | 0,23 | 0,29 | 0,21 | 0,24 |
| 180 | 0,20 | 0,31 | 0,23 | 0,36 | 0,21 | 0,38 | 0,23 | 0,29 | 0,19 | 0,26 |
| 240 | 0,16 | 0,30 | 0,14 | 0,33 | 0,13 | 0,31 | 0,18 | 0,32 | 0,22 | 0,36 |
| | ETP | | | | | | | | | |
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 77,71 | 77,71 | 79,85 | 79,85 | 86,73 | 86,73 | 88,63 | 88,63 | 66,81 | 66,81 |
| 60 | 54,91 | 53,14 | 60,99 | 59,72 | 60,64 | 54,43 | 61,58 | 66,90 | 63,70 | 63,81 |
| 120 | 59,44 | 64,83 | 61,41 | 67,55 | 59,45 | 62,70 | 62,42 | 62,16 | 65,01 | 67,69 |
| 180 | 59,45 | 59,40 | 60,92 | 65,28 | 52,36 | 63,55 | 56,55 | 58,30 | 70,96 | 64,18 |
| 240 | 54,28 | 61,93 | 60,55 | 57,01 | 57,57 | 54,13 | 56,28 | 56,24 | 54,44 | 66,05 |
| | EUP | | | | | | | | | |
| | CCN-51 x Cat | | LCTEEN-37A x Cat | | COCA 3370/5 x Cat | | AMAZ-15 x Cat | | Cat | |
| | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 | 0 | 80 |
| 0 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| 60 | 1,47 | 1,18 | 1,89 | 1,59 | 1,87 | 1,59 | 1,74 | 1,25 | 1,26 | 1,21 |
| 120 | 7,79 | 8,42 | 9,09 | 11,23 | 7,95 | 10,55 | 8,86 | 8,81 | 9,31 | 8,66 |
| 180 | 14,34 | 18,85 | 21,57 | 19,33 | 20,58 | 21,67 | 20,86 | 18,93 | 15,62 | 13,23 |
| 240 | 40,75 | 40,78 | 53,82 | 54,69 | 39,62 | 55,76 | 48,06 | 52,89 | 34,98 | 25,12 |

Tabela 7B. Resumo da análise de variância dos dados de eficiência de absorção com base na massa seca da raiz (EAP)¹ e com base na área radicular (EAP), eficiência de translocação (ETP) e utilização (EUP) de P de genótipos de cacauero, submetido a doses de P e cinco épocas de amostragens

| FV | GL | QM | | | |
|---------------|-----|---------------|------------------|-------------|--------------|
| | | lnEAP | EAP ¹ | ETP | EUP |
| Bloco | 6 | 0,098 | 10,6055 | 56,1347 | 5,8464 |
| Doses (D) | 1 | 4,8940** | 154,8022** | 178,5714* | 31,1103ns |
| Genótipos (G) | 4 | 0,0819ns | 10,1392* | 138,7763** | 455,1308** |
| Épocas (E) | 4 | 42,8053** | 5665,376** | 5527,335** | 23314,01** |
| D x G | 4 | 0,0752ns | 0,8545ns | 4,4050ns | 91,0686** |
| D x E | 4 | 0,4305** | 11,6329** | 53,4435ns | 21,6343ns |
| G x E | 1 | 0,5424** | 13,9280** | 381,3450** | 233,2299** |
| D x G X E | 16 | 0,1146* | 1,4683ns | 98,5388** | 63,5404** |
| Resíduo | 294 | 0,0598 | 3,1641 | 31,8583 | 9,4627 |
| Total | 349 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| CV (%) | | -62,80 | 19,41 | 8,75 | 14,76 |