

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DEFICIÊNCIA DE FERRO EM GRÁPIA: EFEITO DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gládis de Oliveira Jucoski

Santa Maria, RS, Brasil

2005

DEFICIÊNCIA DE FERRO EM GRÁPIA: EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA

por

Gládis de Oliveira Jucoski

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Fernando Teixeira Nicoloso

Santa Maria, RS, Brasil

2005

J91d

Jucoski, Gládis de Oliveira, 1973

Deficiência de ferro em grápia : efeito da adubação fosfatada e potássica / por Gládis de Oliveira Jucoski ; orientador Fernando Teixeira Nicoloso. – Santa Maria, 2005.

73 f. ; il., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Agronomia 2. Engenharia florestal 2. *Apuleia leiocarpa* 3. Nutrição mineral 4. Desequilíbrio nutricional 5. Grápia I. Nicoloso, Fernando Teixeira orient. II. Título

CDU: 631.8:630*2

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DEFICIÊNCIA DE FERRO EM GRÁPIA: EFEITO DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA**

elaborada por
Gládis de Oliveira Jucoski

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Fernando Teixeira Nicoloso (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Dr. João Kaminski (UFSM)

Dr. Sidinei José Lopes (UFSM)

Santa Maria, 28 de abril de 2005.

DEDICO aos meus pais, **Pedro e Dilce**, por todo
o apoio, dedicação, estímulo e amor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Curso de Mestrado em Agronomia.

À CAPES pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

Ao meu orientador, professor Fernando Teixeira Nicoloso, pela oportunidade, orientação, dedicação, ensinamentos e amizade.

Aos professores Danilo Rheinheimer dos Santos e Maria Rosa Chitolina Schetinger, pela co-orientação e apoio.

Ao funcionário Luis Finamor pela ajuda, atenção, carinho e amizade e, também pelo exemplo de responsabilidade e profissionalismo.

À funcionária Adriana Camponogara A. da Silva, pela ajuda, atenção e profissionalismo.

Aos colegas dos laboratórios de Fisiologia Vegetal, de Fertilidade e Química do Solo e de Enzimologia Toxicológica pelas horas de convívio e descontração e auxílio em minha formação.

A todos os meus amigos, em especial agradeço a Etiane, Joseila, Luciana, Iara, Ivonete e Gilvano, pela amizade e ajuda prestada.

Muito Obrigada!

“A mente que se abre a uma
nova idéia nunca voltará ao seu
tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

DEFICIÊNCIA DE FERRO EM GRÁPIA: EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA

AUTORA: GLÁDIS DE OLIVEIRA JUCOSKI

ORIENTADOR: FERNANDO TEIXEIRA NICOLOSO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de abril de 2005.

Em estudos prévios realizados com a grápiã (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride) observou-se que o aumento da adubação de fósforo induziu sintomas visuais de deficiência de ferro nas folhas. O potássio, em nível celular, pode contribuir para o balanceamento de cargas entre o citoplasma e o apoplasto, permitindo que a célula absorva quantidade de ferro necessária para suprimir tal deficiência. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da adubação fosfatada e potássica em relação à deficiência de ferro em plantas jovens de grápiã, cultivadas num Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Foram testados três níveis de adubação de P (80, 150 e 220 mg kg⁻¹ de solo), três níveis de K (70, 110 e 150 mg kg⁻¹ de solo) e três níveis de Fe, na forma de Fe-EDTA (0, 7,5 e 15 mg kg⁻¹ de solo), totalizando 27 tratamentos, sob condições de casa de vegetação. Mensalmente, a partir dos 30 dias após a adubação (DAA) até o término do experimento, 180 DAA, foram avaliados o número de folhas, número de folhas caídas, altura da planta e o diâmetro do caule. Também, mensalmente, até os 150 DAA efetuou-se a contagem das folhas com sintomas visuais típicos de deficiência de ferro. Aos 150 DAA foi determinada a atividade da enzima citoplasmática δ -aminolevulinato desidratase. Aos 180 DAA avaliaram-se ainda a produção de matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea, das raízes e do total da planta; a relação entre a matéria seca do sistema radicular e matéria seca da parte aérea, as características químicas do solo, assim como o teor e a quantidade total de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu nas folhas da grápiã. Semelhante ao registrado anteriormente para a grápiã, constatou-se também no presente trabalho que a alta disponibilidade de P no solo induziu aparecimento de sintomas visuais de deficiência de Fe nas folhas. As relações entre os teores de P/Fe, P/Zn e P/Cu nas folhas aumentaram com a adubação fosfatada, enquanto que adubações de K e Fe diminuíram tais relações. Apesar disso, a adubação potássica não influenciou na formação do porfobilinogênio, molécula precursora da clorofila. Portanto, o aumento da disponibilidade do K não foi o suficiente para sanar o desbalanço nutricional causado pela adubação fosfatada.

Palavras-chaves: *Apuleia leiocarpa*, nutrição mineral, desequilíbrio nutricional.

ABSTRACT

Master's Thesis in Agronomy
Program of Pos-Graduation in Agronomy
Universidade Federal de Santa Maria

IRON DEFICIENCY IN GRÁPIA: EFFECTS OF THE PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION

AUTHOR: GLÁDIS DE OLIVEIRA JUCOSKI

ADVISER: FERNANDO TEIXEIRA NICOLOSO

Date and Local of Defense: Santa Maria, 28 of April of 2005.

Previous studies done with grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride) showed that the increase in the P fertilization induced visual symptoms of Fe-deficiency in the younger leaves. At cellular level, potassium may contribute to balance charges between the cytoplasm and apoplasm, hence allowing the uptake of iron by plant cells. The aim of this study was to evaluate the effects of phosphorus and potassium fertilization in relation to Fe-deficiency in grápia seedlings cultivated in a Paleudalf soil. Twenty seven fertilization treatments were used, represented by the combination of three levels of P (80, 150 e 220 mg P kg⁻¹ of the soil), three levels of K (70, 110 e 150 mg kg⁻¹ of the soil) and three levels of Fe as Fe-EDTA (0, 7,5 e 15 mg Fe kg⁻¹ of soil), under unclimatized greenhouse conditions. The plant growth in number of leaves, number of fallen leaves, height and stem diameter was analyzed monthly. Until 150 days after fertilization (DAF), leaves with visual symptoms of Fe deficiency was counted monthly. At 150 DAF δ-Aminolevulinic acid dehydratase activity was determined. Dry matter of leaves, stem, shoot, roots and whole plant, root/shoot dry matter ratio, chemistry features of the soil, as well as P, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Cu concentration and content from leaves of grápia were analyzed at 180 DAF. The high availability of P in the soil gave rise to chlorosis in the younger leaves similar to that of Fe deficiency. The P fertilization increased the P/Fe, P/Zn and P/Cu ratios in the leaves, whereas K and Fe fertilization decreased those ratios. Nevertheless, the potassium fertilization did not influence the porphobilinogen formation, a precursor molecule of chlorophyll. Therefore, the increased K availability was not sufficient to resolve the nutritional unbalance induced by phosphorus fertilization on grápia.

Key words: *Apuleia leiocarpa*, mineral nutrition, nutritional unbalance.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Efeito da adubação conjunta de P e K no número de folhas de plantas jovens de grápia aos 30 DAA (a), 60 DAA (b), 90 DAA (c), 120 DAA (d), 150 DAA (e) e 180 DAA (f). 15
- FIGURA 2 – Efeito da adubação conjunta de P e Fe no número de folhas de plantas jovens de grápia aos 120 DAA (a), 150 DAA (b) e 180 DAA (c). 16
- FIGURA 3 – Efeito da adubação fosfatada (a) e férrica (b) no número de folhas caídas de plantas jovens de grápia 17
- FIGURA 4 – Efeito da adubação conjunta de P e K na altura de plantas jovens de grápia aos 30 DAA (a), 60 DAA (b) e 90 DAA (c), da adubação isolada de P aos 120, 150 e 180 DAA (d) e da adubação isolada de Fe aos 30 DAA (e). 18
- FIGURA 5 – Efeito da adubação isolada de P no diâmetro de caule de plantas jovens de grápia aos 30, 60, 120, 150 e 180 DAA (a), da adubação conjunta de P e K aos 90 DAA (b), da adubação isolada de Fe aos 30 DAA (c) e da adubação conjunta de K e Fe aos 150 DAA (d) 20
- FIGURA 6 – Efeito da adubação isolada de P na matéria seca da folha, do caule, da parte aérea e total de planta (a); da adubação conjunta de P e K (b) e de K e Fe (c) na matéria seca das raízes e da adubação conjunta de K e Fe (d) na matéria seca total de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA 22

FIGURA 7 – Efeito da adubação conjunta de P e K (a) e da adubação isolada de Fe (b) na relação MSR/MSPA em plantas jovens de grápia, aos 180 DAA ...	23
FIGURA 8 – Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e quantidade total (b) de P e da adubação potássica no teor (c) e quantidade total (d) de P nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.	27
FIGURA 9 – - Efeito da adubação isolada de K na quantidade total de K (a) nas folhas e da adubação conjunta de P e K no teor (b) e quantidade total (c) de K nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.....	28
FIGURA 10 – Efeito da adubação conjunta de P e K no teor (a) e quantidade total (d) de Ca nas folhas e da adubação conjunta de P e Fe (b) e de K e Fe (c) no teor de Ca nas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.	30
FIGURA 11 – Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e na quantidade total (b) de Mg nas folhas e da adubação potássica no teor (c) e quantidade total (d) de Mg nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA..	31
FIGURA 12 – Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e quantidade total (b) de Fe nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.	33
FIGURA 13 – Efeito da adubação conjunta de P e K na percentagem de folhas cloróticas de plantas jovens de grápia aos 30 DAA (a) e de P e Fe aos 30 DAA (b), 60 DAA (c) e 90 DAA (d).....	34
FIGURA 14 – Efeito da adubação conjunta de P e Fe na percentagem de folhas cloróticas de plantas jovens de grápia aos 60 DAA (a) e da adubação isolada de P aos 120 DAA (b) e aos 150 DAA (c)	35
FIGURA 15 – Efeito da adubação férrica no teor (a) e quantidade total (b) de Fe nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA..	36

FIGURA 16 – Efeito da adubação isolada de P (a) e Fe (b) na formação do porfobilinogênio em folhas de plantas jovens grápia, aos 150 DAA.....	36
FIGURA 17 – Efeito da adubação conjunta de P e K no teor de Zn (a) e da adubação fosfatada na quantidade total de Zn (b) nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA	38
FIGURA 18 – Efeito da adubação férrica no teor (a) e quantidade total (b) de Zn nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.	39
FIGURA 19 – Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e, K e Fe (c) no teor de cobre nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA	40
FIGURA 20 – Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e K e Fe (c) na quantidade total de cobre nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.....	41
FIGURA 21 – Efeito da adubação de fósforo (a), potássio (b) e ferro (c) na relação entre os teores de P e Fe nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.....	43
FIGURA 22 – Efeito da adubação conjunta de fósforo e potássio (a) e de fósforo e ferro (b) na relação entre os teores de fósforo e zinco em folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA	44
FIGURA 23 – Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e K e Fe (c) na relação entre os teores de fósforo e cobre em folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Grápia	3
2.2	Fósforo (P)	4
2.3	Potássio (K)	7
2.4	Ferro (Fe)	8
2.5	A enzima delta-aminolevulinato desidratase (δ ALA-D)	9
2.6	Relações P/Fe e K/Fe	9
3	MATERIAL E MÉTODOS	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1	Crescimento das plantas	14
4.1.1	Número de folhas	14
4.1.2	Número de folhas caídas	16
4.1.3	Altura de planta	17
4.1.4	Diâmetro de caule	19
4.1.4	Produção de matéria seca	20
4.2	Teor de nutrientes no solo	24
4.3	Teor e quantidade total de macronutrientes nas folhas	26
4.3.1	Fósforo (P)	26
4.3.2	Potássio (K)	27
4.3.3	Cálcio (Ca)	29
4.3.4	Magnésio (Mg)	30
4.4	Teor e quantidade total de micronutrientes nas folhas	32
4.4.1	Ferro (Fe)	32
4.4.2	Zinco (Zn)	37
4.4.3	Cobre (Cu)	39
4.5	Relações entre os teores de P/ Fe, P/Zn e P/Cu	42
4.5.1	Relação entre os teores de fósforo e de ferro	42
4.5.2	Relação entre os teores de fósforo e de zinco	43
4.5.3	Relação entre os teores de fósforo e de cobre	44
5	CONCLUSÕES	46
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS	56

1 INTRODUÇÃO

A recomendação de corretivos e fertilizantes para a implantação e manutenção de florestas com espécies nativas só é possível com o estudo da demanda nutricional destas espécies (Furtini Neto et al., 2000), tendo-se em vista a grande variabilidade do comportamento dessas espécies em relação às diferentes condições químicas, físicas e biológicas dos solos.

Para a produção de mudas de espécies florestais exóticas ou nativas, visando plantios comerciais ou de reflorestamento na recuperação de áreas intensivamente exploradas, torna-se necessário possuir informações sobre a ecologia das espécies.

A maior parte dos solos brasileiros são bastante intemperizados, ácidos e com fertilidade natural baixa. A adubação em espécies florestais é uma necessidade que se faz presente desde a fase de muda até a fase de estabelecimento da espécie a campo, dando-lhe condições para explorar o solo e produzir de forma que atinja os níveis econômicos, sociais e ambientais almejados (Tedesco, 1999).

A grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride) é uma espécie florestal que apresenta uma ampla distribuição no território brasileiro, sendo que a área ocupada no Rio Grande do Sul é pequena, encontrando-se, principalmente, no noroeste do planalto e em pontos esparsos da Depressão Central. Apresenta grande porte, atingindo grandes dimensões e madeira de lei de primeira qualidade (Rizzini, 1971; Mattos & Guaranha, 1983; Reitz et al., 1988; Marchiori, 1997; Carvalho, 2003).

Testando a combinação da adubação conjunta de P (60 e 180 mg kg⁻¹) e Fe (0, 6 e 12 mg kg⁻¹, na forma de Fe-EDTA), Missio (2002) observou que aos 150 dias após a emergência (DAE) das plantas de grápia houve interação entre a adubação de P e Fe, onde o aumento da dose de Fe para 12 mg kg⁻¹, na presença de 180 mg kg⁻¹ de P, aumentou, significativamente, o diâmetro do caule, número de folhas, matéria seca das folhas, matéria seca de raízes, matéria seca total da planta e o comprimento do sistema radicular. Além disso, esse autor verificou que o aumento da adubação fosfatada induziu sintomas visuais de deficiência de Fe nas folhas. Independente da presença das doses de P utilizadas, a aplicação de Fe aumentou o comprimento do sistema radicular das plantas aos 150 DAE e, na dose de 12 mg kg⁻¹, aumentou o número de folhas por planta aos 90 e 120 DAE. Portanto, concluiu-se

que plantas jovens de grápia quando cultivadas num Argissolo Vermelho Distrófico arênico na presença de altas doses de fósforo devem receber fertilização com Fe.

Segundo Hughes et al. (1992), em nível celular, o potássio pode contribuir para o balanceamento de cargas entre o citoplasma e o apoplasto, permitindo que a célula absorva quantidade de ferro necessária para suprimir a deficiência induzida pela alta disponibilidade de P no solo.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da adubação fosfatada e potássica em relação à deficiência de ferro em plantas jovens de grápia, cultivadas num Argissolo Vermelho Distrófico arênico, sob condições de casa de vegetação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Grápia

A grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride) é uma espécie florestal nativa, pertencente a família Caesalpiniaceae. Apresenta grande porte, chegando até 35 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito. O tronco é cilíndrico e, em geral, pouco tortuoso. Sua copa é pequena com folhagem verde-clara decidual (Reitz et al., 1988). Esta espécie floresce entre os meses de agosto e novembro, geralmente antes da formação das folhas, e a obtenção de frutos dá-se entre os meses de novembro e maio (Carvalho, 2003).

A grápia é característica da floresta latifoliada (Floresta Estacional Decidual) do Alto Uruguai e da Depressão Central do Rio Grande do Sul, apresentando vasta e extensiva dispersão por toda a área dessa floresta (Reitz et al., 1988). Apresenta ampla distribuição geográfica no território brasileiro, estendendo-se desde o nordeste brasileiro até o Uruguai e Argentina, habitando, principalmente, as encostas de morros e solos bem drenados (Marchiori, 1997). Segundo Brasil (1973), no estado do Rio Grande do Sul, a área ocupada por esta espécie é pequena, encontrando-se nas partes mais altas do noroeste do planalto, onde o solo é fértil, profundo e úmido, e em pontos esparsos da Depressão Central. Entretanto, esta espécie torna-se cada vez mais escassa devido a exploração das florestas na sua área de ocorrência natural, sem haver reposição através de reflorestamento.

Trata-se de uma espécie pioneira indiferente até clímax exigente em luz (Carvalho, 2003), contudo não tolerando exposição plena ao sol nos primeiros anos de vida (Carvalho, 2003; Marchiori, 1997). Desenvolve uma vigorosa regeneração nas matas semidevastadas e no interior de capoeirões, demonstrando assim que pertence não aos elementos característicos da floresta densa e desenvolvida e, sim, aos elementos agressivos dos estádios iniciais de desenvolvimento. É por esse motivo que praticamente não se encontram plantas jovens na floresta muito densa (Reitz et al., 1988).

Marchiori (1997) comenta que a madeira da grápia apresenta, entre outras características, resistência mecânica de média a alta e com boa durabilidade natural, sendo indicada para obras externas (carrocerias, dormentes e postes) e para construção civil (vigas, tacos para assoalhos, aberturas e tábuas). Carvalho (2003) salienta que, além de sua grande importância para o setor madeireiro, a espécie apresenta outros usos relevantes, tais como: fonte de energia, medicinal, ornamental, reflorestamento ambiental, bem como, produção de substâncias tanantes.

Devido as suas múltiplas aplicações e sua extraordinária durabilidade, a grápia deve ser considerada como uma das mais valiosas madeiras do RS e, conseqüentemente, deve merecer uma atenção especial nos estudos sobre a viabilidade do seu reflorestamento em larga escala (Reitz et al., 1988).

2.2 Fósforo (P)

Entre os muitos nutrientes exigidos pela planta, o P é um dos mais importantes, pois o metabolismo celular e o crescimento vegetal são significativamente afetados quando este se apresenta em baixa disponibilidade (Raghothama, 1999).

Na planta, o fosfato, $H_2PO_4^-$, permanece na forma livre ou fazendo parte integral de macromoléculas importantes das células vegetais, tais como: os fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese; e, os fosfolipídios, que compõem as membranas celulares e o DNA, necessário a síntese de proteínas. É também componente dos nucleotídeos como o ADP e ATP, que contém grupo fosfato altamente energético, utilizado nos diversos processos bioquímicos consumidores de energia (Mengel & Kirby, 1982; Marschner, 1995; Wang et al., 2002 e Taiz & Zeiger, 2004). Ele atua tanto como substrato, quanto como fator regulatório na fotossíntese e no metabolismo oxidativo. Além disso, participa na transdução de sinal pela fosforilação e desfosforilação das proteínas (Wang et al., 2002; Taiz & Zeiger, 2004).

Além disso, o fósforo, em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, apressa a maturação, estimula o crescimento e ajuda na formação das sementes, atua na respiração, na absorção iônica de outros

elementos, na síntese e degradação de lipídios e proteínas (Brady, 1989; Raij, 1991).

Na planta, o P é altamente móvel, translocando-se dos tecidos velhos para as regiões de intenso crescimento da planta. A deficiência desse nutriente desencadeia um grande número de alterações fisiológicas nas plantas, provavelmente para aumentar a aquisição de P do solo e distribuí-lo para todo o vegetal. Tais alterações incluem: (i) modificações na arquitetura radicular e na relação de distribuição da biomassa entre raiz e parte aérea; (ii) estimulação da absorção de P pelas raízes, aumentando a liberação de fosfatases e RNAses para o meio externo; (iii) alterações na respiração, reduzindo a dependência de P nas ligações fosfatadas altamente energéticas; e, (iv) adensamento de pêlos radiculares nas pontas das raízes (Raghothama, 1999; Wang et al., 2002). Além disso, estudos em biologia molecular têm demonstrado que a deficiência de P desencadeia alterações na expressão gênica e protéica, indicando que um número de genes e proteínas envolvidas na nutrição de P são regulados pelo nível de P na planta (Liu et al., 1998; Muchhal & Raghothama, 1999; Raghothama, 1999; Mukatira et al., 2001).

À semelhança do que ocorre para a maioria das espécies cultivadas, o fósforo é um nutriente muito limitante ao crescimento de espécies florestais nativas (Furtini Neto et al., 2000).

O fósforo é absorvido, na maioria dos solos brasileiros, na forma de H_2PO_4^- , em consequência não só do pH, mas também pela diminuição da absorção desse nutriente com a elevação do pH da solução (Mengel & Kirby, 1982). Conforme Sanchez & Logan (1992 apud Rheinheimer, 2000), os solos tropicais e sub-tropicais caracterizam-se pelo alto grau de intemperismo, sendo que 36% são deficientes em nutrientes e mais de 25% são altamente deficientes em P disponível. A disponibilidade do fosfato na solução do solo depende de transformações químicas, destacando-se a sorção do fósforo em formas insolúveis pelas reações de adsorção e precipitação e, também pela solubilização por reações de dissolução mineral (Pierzynski et al., 1994). Em solos ácidos, o fosfato é adsorvido especificamente aos grupos funcionais monocoordenados aos óxidos, arestas das argilas e aluminossilicatos amorfos (Rheinheimer et al., 2003). Wang et al. (2002) salientam que a adsorção específica de P pelos solos é a causa principal da diminuição da disponibilidade de fósforo aos vegetais.

O nível do fosfato na solução do solo é regulado, principalmente, pela suas interações com as superfícies orgânicas e inorgânicas do solo. Íons de alumínio e ferro interagem fortemente com o P, tornando-o indisponível para os vegetais. Além disso, uma considerável fração (20 – 80%) do P no solo está sob a forma orgânica (Jungk et al., 1993; Tisdale et al., 1993), o qual deve ser mineralizado antes de se tornar disponível às plantas. Os vegetais também competem com microorganismos para a obtenção de P, sob condições limitantes deste nutriente.

A eficiência do aproveitamento de fósforo presente no solo é provocada pelas diferenças na absorção e utilização deste nutriente pelas plantas, sendo esses associados as suas características morfológicas e fisiológicas (Abichequer & Bohnen, 1998). A identificação dos fatores responsáveis pelas diferenças de absorção, translocação e utilização do fósforo em plantas, contribui decisivamente para a compreensão dos aspectos e mecanismos envolvidos na adubação fosfatada das plantas.

A concentração muito baixa de fosfato disponível na solução do solo e a alta demanda por P nas células propõem um problema único para as plantas. O P requerido para crescimento ótimo dos vegetais varia de 0,3 a 0,5% do peso seco, durante o estágio de crescimento vegetativo (Marschner, 1995).

Faria et al. (1995), em estudos realizados com albizia (*Albizia lebbbeck*), verificaram elevada resposta à aplicação de baixas doses de fósforo durante a fase inicial de desenvolvimento das mudas. Resultados semelhantes foram encontrados em grápia por Nicoloso et al. (1999, 2001), Missio (2002) e Missio et al. (2004), onde constataram que a adubação fosfatada aumentou, de modo significativo, o crescimento de plantas jovens em todos os parâmetros de crescimento avaliados. Estes autores concluíram que a grápia é uma espécie bastante exigente em P na fase inicial de crescimento, quando cultivada no Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Por outro lado, foi também constatado que altas doses de P induzem clorose nas folhas mais jovens, semelhantes à deficiência de ferro.

2.3 Potássio (K)

O K é responsável pela síntese e pela ativação de numerosas enzimas, tais como: sintetases, oxi-redutases, desidrogenases e quinases; sendo também necessário na síntese de aminoácidos e proteínas. Atua como regulador osmótico, no transporte de açúcares, translocação de carboidratos e balanço iônico das células, entre outras funções, sendo o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais (Epstein, 1975; Mengel & Kirby, 1982; Marschner, 1995).

O potássio é altamente móvel dentro da planta, sendo assim prontamente redistribuído das folhas mais velhas para os órgãos novos em crescimento. Apresenta-se em altas concentrações no citosol e no cloroplasto, contribuindo para a estabilização do pH entre 7 e 8 dentro desses compartimentos, favorecendo assim a maioria das reações enzimáticas, sendo que o K^+ não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (Marschner, 1995).

O K é absorvido pelas plantas da solução do solo em sua forma iônica monovalente, K^+ , sendo que a difusão e, em menor proporção, o fluxo de massa, são processos que o colocam junto as raízes (Ruiz et al., 1999). Segundo Raij (1991), os teores de K na solução do solo dependem da concentração dos ânions presentes, podendo atingir teores bastante elevados.

As maiores respostas à adubação potássica foram encontradas nas espécies florestais com maiores taxas de crescimento, onde as espécies pioneiras e secundárias, em comparação às espécies clímax, foram mais eficientes na absorção e assimilação de K (Furtini Neto et al., 2000).

Em estudos realizados com a grápia, Nicoloso et al. (2001) observaram resposta positiva a adubação potássica nas doses superiores a 60 mg kg^{-1} de solo, quando cultivadas em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, as quais aumentaram o comprimento do sistema radicular, o número de folhas, a altura de planta e matéria seca da folha, do caule e total da planta.

2.4 Ferro (Fe)

O ferro é um micronutriente muito importante às plantas, pois os complexos orgânicos de Fe participam das reações de oxi-redução em várias rotas metabólicas. É encontrado nos cloroplastos e nas proteínas do grupo heme e não-heme. Este nutriente também participa na formação da clorofila, no metabolismo dos ácidos nucléicos e exerce funções catalíticas e estruturais (Borkert et al., 2001).

As respostas à deficiência de Fe nas plantas são dependentes do genótipo considerado (Vansuyt et al., 2003) e envolve muitas adaptações fisiológicas (Guerinot & Yi, 1994). Nas plantas dicotiledôneas e monocotiledôneas que não sejam gramíneas, tais adaptações podem ser caracterizadas por: (i) diminuição da síntese e concentração de clorofila (Graziano et al., 2002; Vansuyt et al., 2003); (ii) diminuição do desenvolvimento do cloroplasto (Thoiron et al., 1997; Graziano et al., 2002); (iii) aumento da atividade da quelato Fe(III) redutase (Rombolà et al., 2002; Vansuyt et al., 2003); (iv) aumento do fluxo de liberação de prótons pelas raízes e conseqüente acidificação da rizosfera (Brown, 1978; Römheld & Marschner, 1986; Schmidt, 2003a; Vansuyt et al., 2003); (v) desenvolvimento de pêlos radiculares adicionais e aumento no número de células de transferência da rizoderme (Kramer et al., 1980; Landsberg, 1982; Schmidt, 2003a); (vi) adensamento de pêlos radiculares na ponta das raízes (Schmidt, 2003a); (vii) aumento da capacidade de redução e absorção de Fe (Graziano et al., 2002) através da indução de genes que codificam enzimas envolvidas na mobilização e absorção dos nutrientes (Schmidt, 2003a); e, (viii) aumento da concentração de ácidos orgânicos, principalmente o cítrico, nas raízes (Rombolà et al., 2002).

O Fe apresenta limitada remobilização dentro da planta, logo sintomas como a clorose interneval induzida pela deficiência desse nutriente aparecem primeiramente nas folhas jovens (Römheld, 2001; Marschner, 1995).

O Fe é absorvido pelas raízes das plantas preferencialmente na forma Fe(II) em comparação a Fe(III). Marschner (1995) salienta que a forma preferencial de absorção do Fe depende do mecanismo usado pelas diferentes espécies.

Embora a maioria dos solos contenha uma grande quantidade de Fe, sua biodisponibilidade é freqüentemente restrita em ambientes aeróbicos, existindo principalmente como óxidos de Fe com baixa solubilidade (Schmidt, 2003b).

2.5 A enzima delta-aminolevulinato desidratase (δ ALA-D)

A enzima citoplasmática δ ALA-D (E.C.4.2.1.24), também conhecida como porfobilinogênio sintetase, catalisa a condensação assimétrica de duas moléculas do ácido delta-aminolevulínico (ALA) para formar o composto monopirrólico porfobilinogênio (PBG) (Jaffe, 1995), sendo que a síntese desse composto promove a formação das porfirinas, hemes e clorofilas, os quais são compostos importantes para o metabolismo aeróbico e para a fotossíntese (Jaffe et al., 2000).

Shibata & Ochiai (1976) comentam que a atividade da δ ALA-D, em plantas, aumenta durante o desenvolvimento do cloroplasto, sendo esse um período de rápida acumulação de clorofila. Logo, a síntese de clorofila pode ser regulado pela atividade desta enzima (Naito et al., 1980).

Todas as enzimas isoladas até o momento requerem um íon metálico bivalente para estarem ativas, sendo em sua maioria inibidas pelo EDTA, sendo que a δ ALA-D proveniente dos vegetais requer o Mg^{2+} para sua ativação (Tamai et al., 1979; Jaffe et al., 1995).

A δ ALA-D é uma enzima de natureza tiólica, apresentando a necessidade de seus grupamentos sulfidrílicos estarem no estado reduzido para desempenhar sua ação catalítica (Bevan et al., 1980) sendo, portanto, inibida por uma variedade de metais pesados e não metais que possuam a propriedade química de oxidar grupamentos -SH, tais como: chumbo, cobre, mercúrio, cádmio, zinco (Rodrigues et al., 1989; Rocha et al., 1995; Emanuelli et al., 1996), alguns compostos orgânicos e inorgânicos de selênio e telúrio (Barbosa et al., 1998; Farina, 2000) e também pelo alumínio (Pereira, 2004).

Por outro lado, cátions divalentes como Fe^{2+} e Zn^{2+} podem ativar a δ ALA-D Gibson et al. (1955 apud Pereira, 2004).

2.6 Relações P/Fe e K/Fe

A relação entre P e Fe, em nível celular, parece estar relacionada com a variação do pH do meio apoplástico e do potencial eletroquímico, pelo qual o fósforo, por ser absorvido por intermédio de um transportador de H^+ - HPO_4^{2-} do tipo simporte,

provoca o aumento do pH apoplástico e, conseqüentemente, uma diminuição da atividade da quelato Fe(III) redutase (Römheld & Marschner, 1986; Toulon et al., 1992; Mengel, 1995; Kosegarten et al., 1999; Gonzáles-Vallejo et al., 2000). Com isso, provoca uma imobilização do Fe nestes espaços e, portanto, quantidades substanciais de Fe permanecem no apoplasto não sendo transportado para o simplasto, onde é requerido para os processos celulares (Kosegarten et al., 1999).

Estudos realizados por Kosegarten et al. (1999), visando avaliar a relação entre fontes de nitrogênio, ferro e pH do apoplasto celular de girassol (*Helianthus annuus* L.), indicaram que o fornecimento de nitrogênio na forma de NO_3^- promoveu a alcalinização do meio externo às células, que por sua vez impediu a atuação da enzima quelato Fe(III) redutase e, como conseqüência induziu a deficiência de Fe. Estes autores salientam que o processo de amarelecimento das folhas é lento, iniciando em pequenas áreas na superfície foliar, provavelmente em função da distribuição dos sítios com alto pH apoplástico.

O potássio está envolvido no aumento da absorção e translocação de Fe, tanto em plantas monocotiledôneas como em dicotiledôneas, pois contribui para um balanceamento de cargas entre o citoplasma e o apoplasto (Hughes et al., 1992). Jolley et al. (1988) comentam que o K estaria envolvido no controle da liberação de H^+ e na redução de Fe(III) à Fe(II) nas raízes de plantas de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e soja (*Glycine Max* (L.) Merr.) aumentando a disponibilidade do Fe às plantas quando o K se encontrar em níveis considerados adequados. Barak & Chen (1984) relataram que a fertilização com K, em níveis variando de 135 a 405 mg kg^{-1} de solo, diminuiu a clorose férrica em plantas de *Arachis hypogea* cultivadas em casa de vegetação. Estudos com plantas de tomateiro e com espécies frutíferas mostraram que tais plantas quando pouco supridas em K desenvolveram sintomas de deficiência de Fe (Chapman et al., 1947; Bolle-Jones, 1955).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob casa de vegetação não climatizada, pertencente ao Departamento de Solos do Centro de Ciências Rurais, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, entre os meses de dezembro de 2003 a junho de 2004.

Utilizou-se como substrato o Argissolo Vermelho Distrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento São Pedro, coletado de 3 a 65 cm de profundidade, correspondente ao horizonte A, sob vegetação de campo nativo, no município de Santa Maria, RS, cuja posição geográfica é definida pelas coordenadas 29° 42,77' S e 53° 42,76' W, obtidos com o Datum WGS 84. Uma amostra composta de solo de cada tratamento (com e sem adubação) foi homogeneizada e submetida a análises físicas e químicas, no Laboratório central de análises de solo da UFSM, no término do período experimental .

Os tratamentos consistiram da combinação de três fatores nutricionais em esquema trifatorial completo (3x3x3) representados por três níveis de P (80, 150 e 220 mg kg⁻¹ de solo), três níveis de K (70, 110 e 150 mg kg⁻¹ de solo) e três níveis de Fe, na forma de Fe-EDTA (0, 7,5 e 15 mg kg⁻¹ de solo), totalizando 27 tratamentos.

Realizou-se ainda adubação suplementar de N (75 mg kg⁻¹), Ca (71,6 mg kg⁻¹), Mg (35,8 mg kg⁻¹) e S (15,0 mg kg⁻¹). Todos nutrientes foram aplicados sob forma de solução nutritiva em dose única, após a emergência das plântulas.

Os vasos foram pintados externamente com tinta branca para evitar o aquecimento excessivo devido à incidência da luz solar e, foram forrados internamente com sacos plásticos para evitar a perda de água e de nutrientes pela drenagem. Para reposição da água evapotranspirada foi realizada irrigação, com água deionizada, sobre a superfície e através de canos de PVC perfurados e introduzidos no solo, mantendo-se a umidade do solo em torno de 30 a 40% da capacidade de campo até a aplicação da adubação e, no restante do período experimental, entre 50 e 60%, sempre por meio de aferições diárias por pesagem.

As sementes utilizadas foram coletadas, de diferentes árvores matrizes, em março de 2002 no município de Dona Francisca, RS. As sementes sofreram escarificação química com H_2SO_4 concentrado durante 15 min, segundo a metodologia descrita por Nicoloso et al. (1997), seguido de tratamento com solução fungicida à base de Benlate a 0,2% p/v e, posteriormente, foram colocadas em caixas de germinação, tendo papel filtro como substrato. Na seqüência, procedeu-se a semeadura de quatro sementes pré-germinadas diretamente nos vasos. Após sete dias da emergência, realizou-se a seleção das mesmas deixando-se duas plantas uniformes por vaso.

Mensalmente, a partir dos 30 dias após a adubação (DAA) até o término do experimento, 180 DAA, realizou-se a análise do crescimento das plantas através das variáveis: número de folhas, número de folhas caídas, altura de planta e o diâmetro do caule (a 1 cm do nível do solo); bem como a contagem de folhas jovens com sintomas visuais típicos de deficiência de ferro até os 150 DAA.

Aos 150 DAA coletou-se, aproximadamente, 5,0 g de folhas jovens frescas de três repetições de cada tratamento para a determinação da atividade da enzima δ -aminolevulinato ácido desidratase (δ ALA-D), através da mensuração da taxa de formação do porfobilinogênio, de acordo com o método descrito por Barbosa et al. (1998) e o produto da reação foi determinado pela metodologia descrita por Sassa (1982).

Aos 180 DAA avaliaram-se a produção de matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea, das raízes e total da planta; calculou-se a relação entre a matéria seca do sistema radicular e matéria seca da parte aérea; determinou-se, ainda, o teor e a quantidade total de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu nas folhas de grápia. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu foram extraídos através de digestão nitro-perclórica, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A determinação do fósforo foi feita por colorimetria, segundo método de Murphy & Riley (1962); a do potássio por fotometria de chama e dos demais nutrientes por espectrofotometria de absorção atômica, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A quantidade total dos nutrientes nas folhas foi calculada com base nos respectivos teores e produção de matéria seca das folhas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis repetições. A unidade experimental constituiu-se de um vaso de polietileno (com capacidade total de cinco dm^3), possuindo quatro quilos de terra fina seca ao ar e

duas plantas uniformes, os quais foram submetidos a rodízio periódico para evitar algum efeito de localização na casa de vegetação.

Foi realizado a análise de variância para todas as variáveis (Em anexo), considerando o esquema trifatorial para cada época analisada, sendo que, quando a interação tripla foi significativa, em nível de 5% de probabilidade de erro, ajustou-se superfícies de resposta para as combinações de dois fatores; e, para as interações duplas significativas, procedeu-se o ajuste da superfície de resposta. Para os efeitos principais, quando as interações não foram significativas, desdobrou-se a soma dos quadrados dos tratamentos em polinômios de 1º e 2º graus, ajustando o polinômio de maior grau significativo em nível de 5% de probabilidade de erro. As funções que apresentaram r^2 menor que 0,5 não foram consideradas para efeito de resultado. Os dados foram analisados utilizando o pacote estatístico NTIA/Embrapa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento das plantas

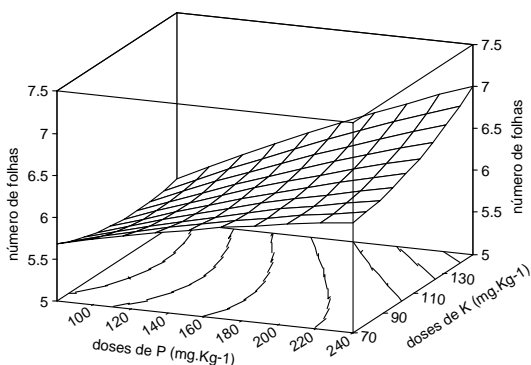
4.1.1 Número de folhas

Não houve efeito das doses isoladas de fósforo, potássio e ferro para o número de folhas. Contudo, em todas as épocas avaliadas (Figura 1), houve interação entre a adubação de fósforo e potássio, observando-se acréscimo mais acentuado do número de folhas por planta com o aumento das doses de P em relação às doses crescentes de K. Tais resultados corroboram com aqueles encontrados por Missio et al. (2004), onde o número de folhas de grápia respondeu de forma mais acentuada a adubação fosfatada. Nicoloso et al. (1999) comentam que o P foi o nutriente que mais limitou o desenvolvimento da grápia quanto ao número de folhas remanescentes.

Para a interação entre as adubações de P e Fe, dos 120 DAA aos 180 DAA, observou-se que o aumento da adubação fosfatada até doses críticas (DC) em torno de 200 mg kg^{-1} proporcionou o maior número de folhas por planta (Figura 2). Por outro lado, a fertilização férrica exerceu pouca influência.

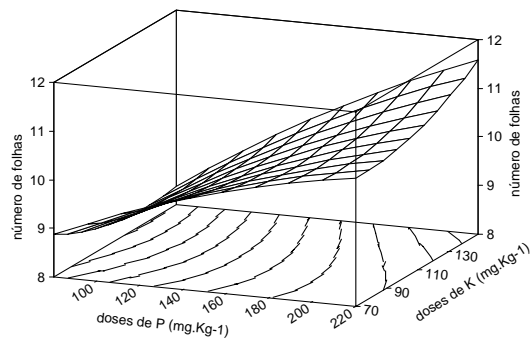
(a)

$$(30 \text{ DAA}) y = 6,7 + 0,002P - 0,000008P^2 - 0,03K + 0,00009K^2 + 0,00007PK \quad (r^2=0,97)$$



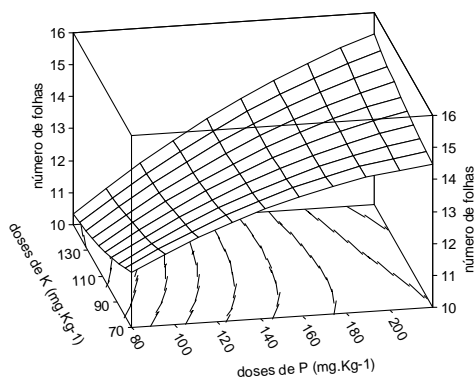
(b)

$$(60 \text{ DAA}) y = 9,9 + 0,02P - 0,00005P^2 - 0,05K + 0,0002K^2 + 0,0001PK \quad (r^2=0,98)$$



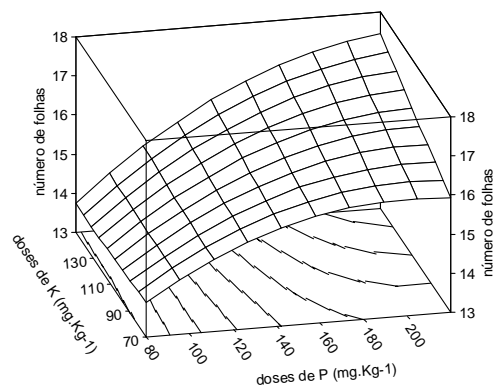
(c)

$$(90 \text{ DAA}) y = 11,8 + 0,03P - 0,0001P^2 - 0,055K + 0,0001K^2 + 0,0002PK \quad (r^2=0,98)$$



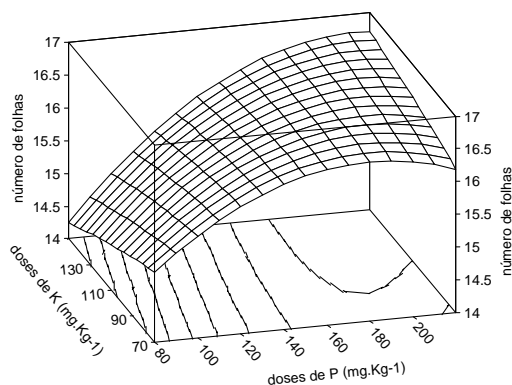
(d)

$$(120 \text{ DAA}) y = 11,3 + 0,05P - 0,00015P^2 - 0,02K + 0,00002K^2 + 0,0001PK \quad (r^2=0,98)$$



(e)

$$(150 \text{ DAA}) y = 13,0 + 0,04P - 0,0001P^2 - 0,01K - 0,00003K^2 + 0,0001PK \quad (r^2=0,96)$$



(f)

$$(180 \text{ DAA}) y = 11,5 + 0,04P - 0,0001P^2 + 0,02K - 0,0001K^2 + 0,00003PK \quad (r^2=0,90)$$

DC para P= 181,35 mg kg⁻¹
DC para K= 113,8 mg kg⁻¹

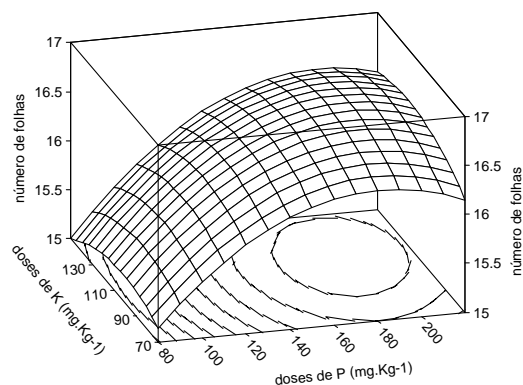


Figura 1 - Efeito da adubação conjunta de P e K no número de folhas de plantas jovens de grápia, aos 30 DAA (a), 60 DAA (b), 90 DAA (c), 120 DAA (d), 150 DAA (e) e 180 DAA (f).

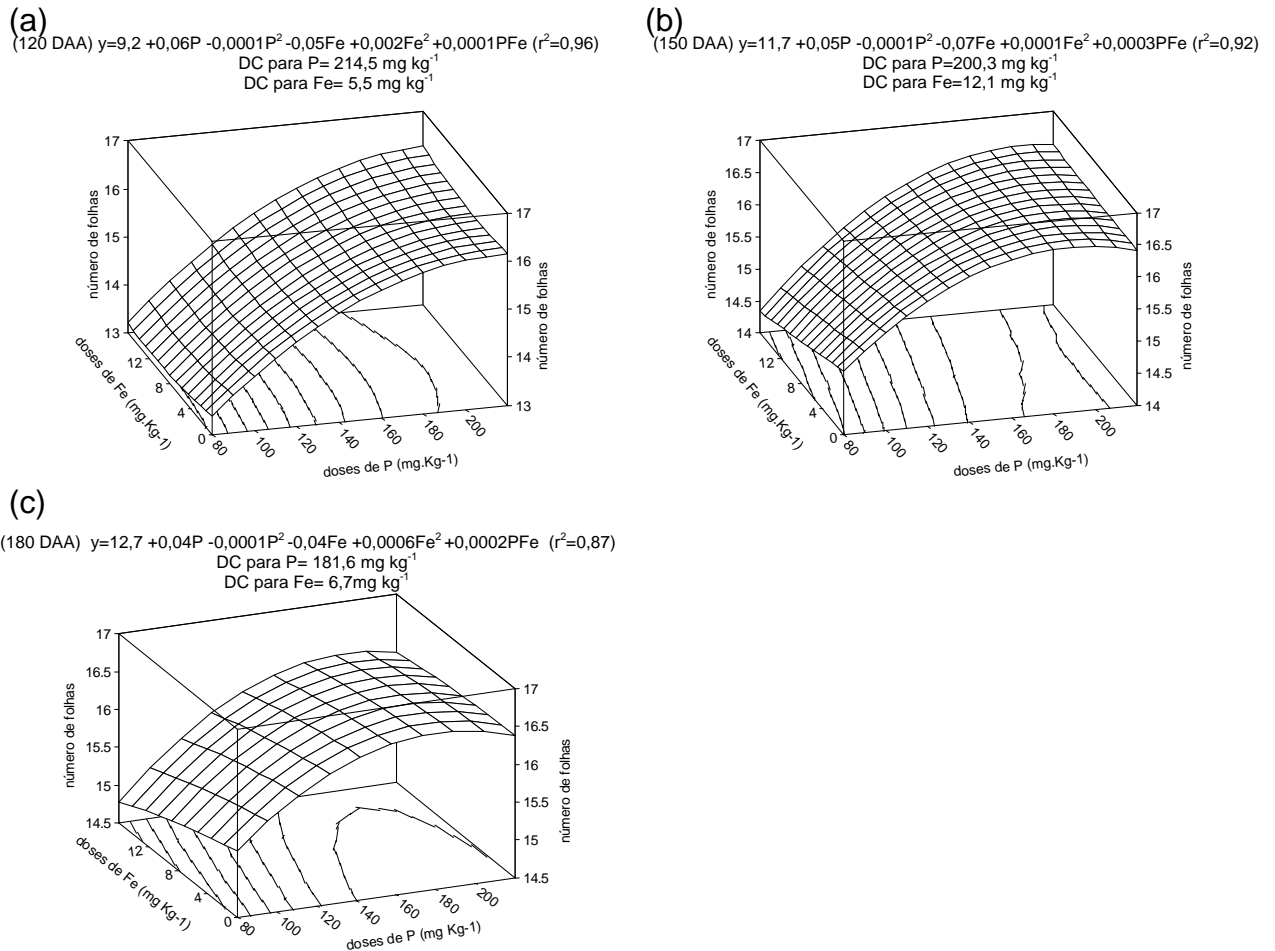


Figura 2 - Efeito da adubação conjunta de P e Fe no número de folhas de plantas jovens de grápia aos 120 DAA (a), 150 DAA (b) e 180 DAA (c).

4.1.2 Número de folhas caídas

Para o número de folhas caídas por planta houve apenas resposta a aplicação de fósforo e ferro, sendo que aos 60 DAA observou-se um leve decréscimo nesse parâmetro com o aumento da adubação fosfatada. Por outro lado, aos 90 DAA, 150 DAA e 180 DAA observou-se que, doses superiores a 150 mg kg⁻¹ de P aumentaram número de folhas caídas (Figura 3a). Tal comportamento também foi encontrado por Fogaça (1999) e Missio (2002).

Quando aplicou-se doses crescentes de Fe-EDTA no solo, constatou-se que o número de folhas caídas por planta aumentou linearmente aos 150 DAA e 180 DAA (Figura 3b). Já Missio (2002), trabalhando com esta espécie sob diferentes doses de

P e Fe, verificou maior número de folhas caídas quando a dose aplicada de Fe foi de $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$, aos 150 DAA.

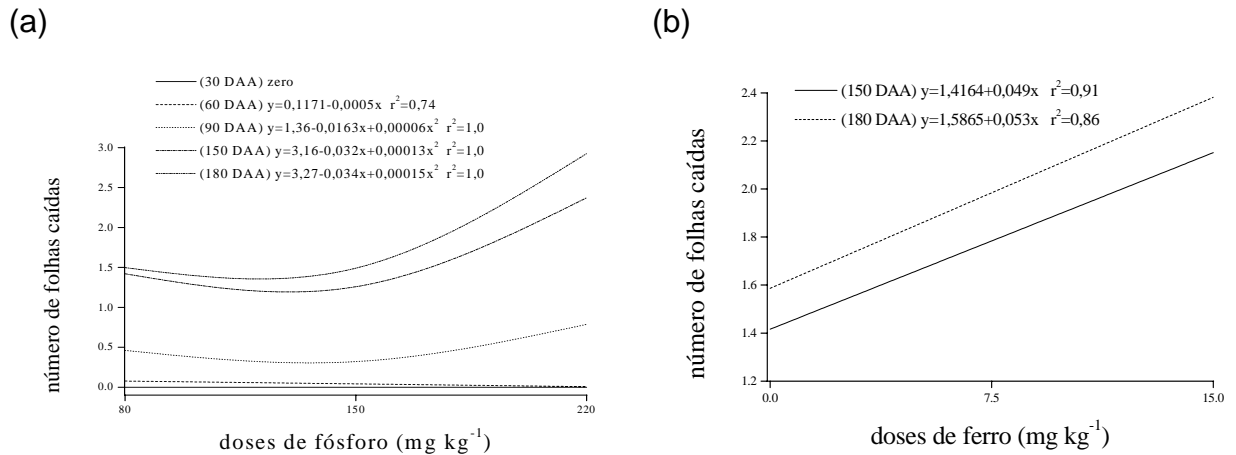


Figura 3 - Efeito da adubação fosfatada (a) e férrica (b) no número de folhas caídas de plantas jovens de grápia.

4.1.3 Altura de planta

Aos 30 DAA (Figura 4a), 60 DAA (Figura 4b) e 90 DAA (Figura 4c) houve interação entre a adubação de P e K, observando-se acréscimo mais acentuado da altura de plantas com o aumento das doses de P em relação às doses crescentes de K. Já, aos 120 DAA, 150 DAA e aos 180 DAA (Figura 4d), somente observou-se efeito isolado linear positivo à adubação fosfatada.

Aos 30 DAA, também observou-se efeito isolado da adubação de Fe, onde, com o aumento da dose aplicada observou-se uma redução na altura de planta (Figura 4e).

Outros estudos realizados com esta espécie por Nicoloso et al. (2001) e Missio et al. (2004), porém utilizando doses menores de P, também mostraram comportamento semelhante. Além disso, Daniel et al. (1997), Resende et al. (1999), Tedesco (1999), Paula et al. (2003), Ceconi et al. (2003), Ceconi et al. (2004) e Schumacher et al. (2004), trabalhando com diferentes espécies florestais, constataram que as maiores alturas de plantas foram obtidas em doses superiores a 220 mg kg^{-1} de P. Por outro lado, Missio (2002), trabalhando com a grápia, encontrou as maiores alturas na dose de 139 mg kg^{-1} de P.

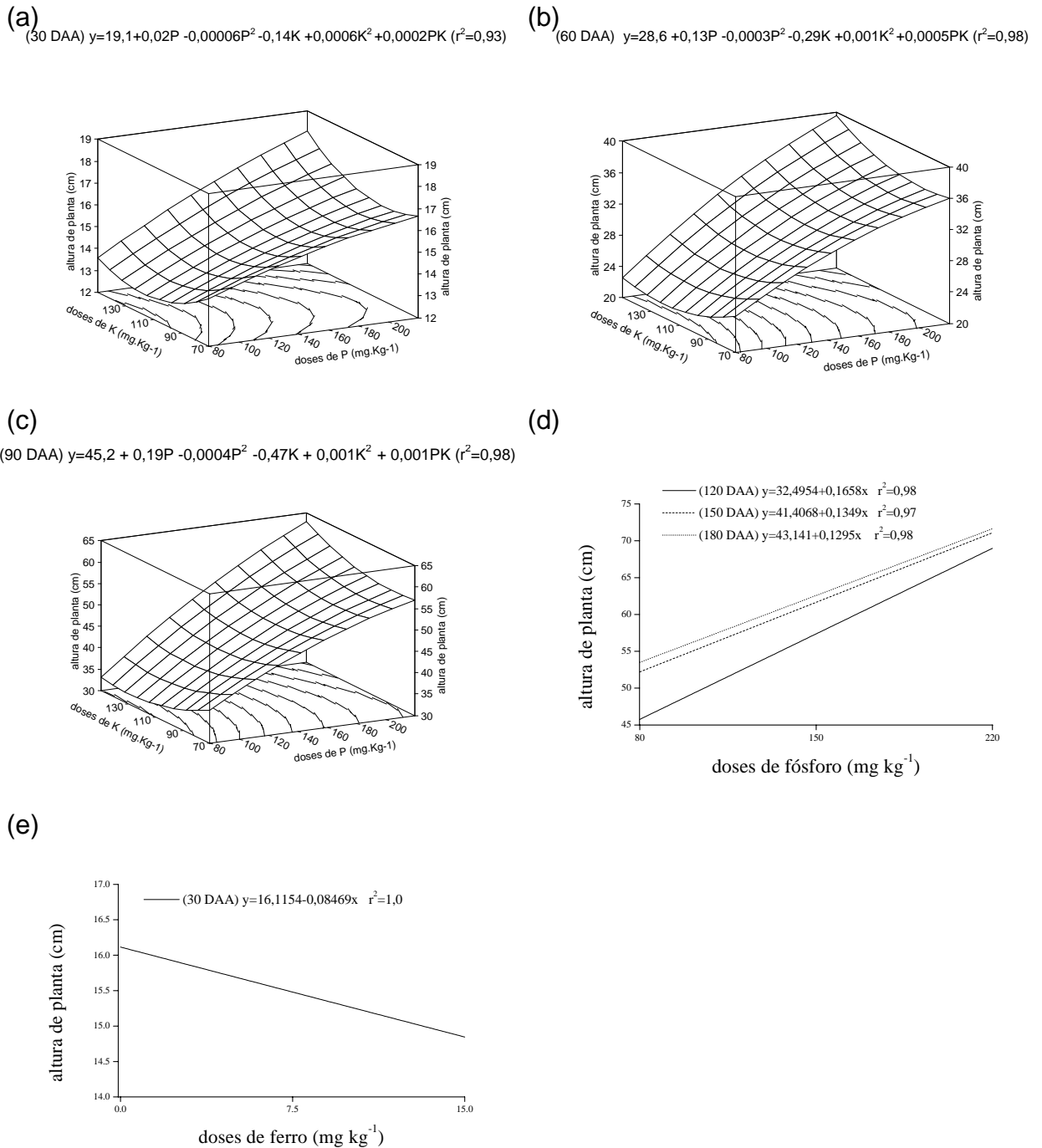


Figura 4 - Efeito da adubação conjunta de P e K na altura de plantas jovens de grápia aos 30 DAA (a), 60 DAA (b) e 90 DAA (c), da adubação isolada de P aos 120, 150 e 180 DAA (d) e da adubação isolada de Fe aos 30 DAA (e).

Em relação à adubação potássica, verificou-se que a altura das plantas de grápia foi pouco afetada pela adição desse nutriente ao solo. Fato que também foi observado por Nicoloso et al. (2001). Silva et al. (1997), trabalhando com diferentes espécies florestais, constataram aumento da altura de planta em virtude do

fornecimento de K ao substrato. Já Duboc (1994) e Silva et al. (1997) não encontraram diferença significativa entre solos fertilizados e os não fertilizados com potássio, na altura de mudas de algumas espécies arbóreas.

Logo, as espécies florestais respondem de maneira diferenciada à fertilização de P e K e até mesmo, podendo diferir dentro da mesma espécie em função da variabilidade genética e/ou diferentes relações entre os nutrientes tanto no substrato quanto na planta. Para Guimarães (1993), as diferenças inerentes à absorção de nutrientes em resposta ao crescimento podem ocorrer entre espécies, procedências, progênies e clones de espécies florestais.

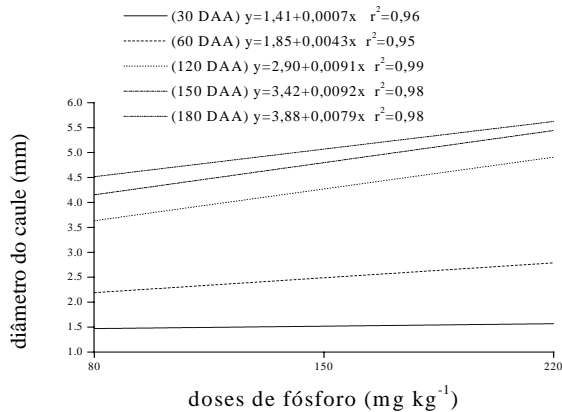
4.1.4 Diâmetro de caule

Aos 30, 60, 120, 150 e 180 DAA (Figura 5a) observou-se aumento linear do diâmetro de caule, pelo acréscimo da adubação fosfatada. Tais resultados corroboram com aqueles encontrados em grápia por Nicoloso et al. (2001), Missio (2002) e Missio et al. (2004).

Somente aos 90 DAA (Figura 5b) constatou-se interação do P e K para este parâmetro, onde observou-se um comportamento similar aos demais parâmetros de crescimento analisados, ou seja, houve maior resposta à adubação fosfatada em relação a adubação potássica, indicando que o teor de K disponível no solo sem adubação foi suficiente para não restringir o incremento, em diâmetro, do caule da grápia.

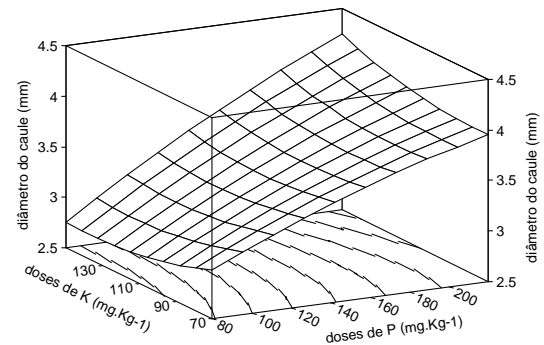
Aos 30 DAA, ocorreu decréscimo no diâmetro de caule (Figura 5c) pelo aumento da aplicação isolada de Fe. Já aos 150 DAA (Figura 5d), observou-se que o aumento da fertilização férrica associada as maiores doses de K aplicadas no solo provocou diminuição no diâmetro de caule.

(a)

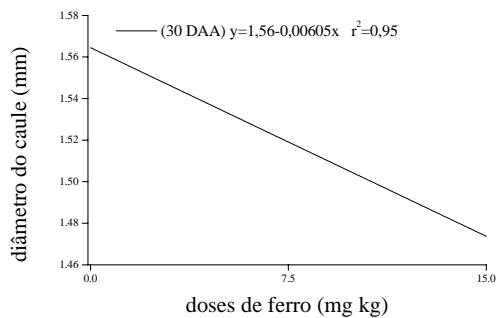


(b)

$$(90 \text{ DAA}) y = 3,1 + 0,009P - 0,00002P^2 - 0,02K + 0,00005K^2 + 0,00005PK \quad (r^2=0,97)$$



(c)



(d)

$$(150 \text{ DAA}) y = 5,7 - 0,02K + 0,0001K^2 + 0,07Fe - 0,0003Fe^2 - 0,0006KFe \quad (r^2=0,77)$$

DC para K= 109,4 mg kg⁻¹
DC para Fe= 5,2 mg kg⁻¹

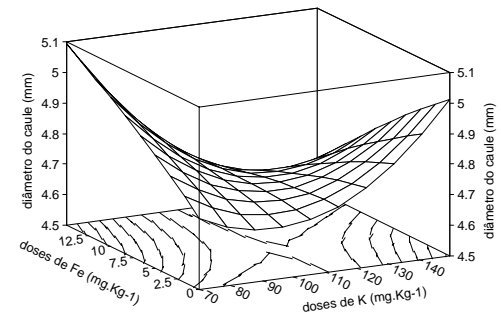


Figura 5 - Efeito da adubação isolada de P no diâmetro de caule de plantas jovens de grápia aos 30, 60, 120, 150 e 180 DAA (a), da adubação conjunta de P e K aos 90 DAA (b), da adubação isolada de Fe aos 30 DAA (c) e da adubação conjunta de K e Fe aos 150 DAA (d).

4.1.4 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca das plantas de grápia aos 180 DAA apresentou comportamento diferenciado nas diferentes partes da planta. As matérias seca de folha (MSF), caule (MSC) e parte aérea (MSPA) (Figura 6a) apresentaram resposta linear positiva à adubação isolada de fósforo. Comportamento semelhante foi obtido por Nicoloso et al. (2001), Missio (2002) e Missio et al. (2004) quando trabalharam com esta espécie sob condições diversas. Além disso, para diferentes espécies arbóreas Barbosa et al. (1997), Daniel et al. (1997), Resende et al. (1999), Tedesco (1999), Fernandes et al. (2000), Balieiro et al. (2001), Ceconi et al. (2003), Ceconi et

al. (2004) e Schumacher et al. (2004) encontraram tanto resposta quadrática quanto linear à adubação fosfatada, porém, as maiores produções da MSPA foram obtidas em doses superiores a utilizada nesse estudo. Por outro lado, Missio (2002), analisando o efeito da adubação conjunta de P e S no crescimento de plantas jovens de grápia, encontrou resposta quadrática na MSF, MSC e MSPA, onde a DMET estimada para o fósforo foi de, respectivamente, 139 mg kg⁻¹, 136 mg kg⁻¹ e 162 mg kg⁻¹. Cabe salientar que o balanço nutricional e o efeito das interações entre os nutrientes são complexos, fato este que pode explicar as respostas diferenciadas à adubação de P para a grápia, sob diferentes condições experimentais.

Houve interação entre as adubações de P, K e Fe na produção da matéria seca da raiz (MSR), a qual aumentou mais pela adição de P do que pela adição de K (Figura 6b). O aumento obtido na produção da MSR de outras espécies arbóreas, com o acréscimo de doses de P, foram encontrados também por Braga et al. (1995), Barbosa et al. (1997), Resende et al. (1999), Tedesco (1999), Fernandes et al. (2000), Nicoloso et al. (2001), Ceconi et al. (2003), Ceconi et al. (2004) e Schumacher et al. (2004). Porém, Nicoloso et al. (1999), trabalhando com a técnica do nutriente faltante e com o mesmo solo, observaram que a omissão de P, S, N e K afetaram a produção da MSR. Silva et al. (1997), estudando o crescimento inicial de 14 espécies florestais em resposta à adubação potássica, verificaram que o crescimento radicular, principalmente nas espécies pioneiras, esteve relacionado positivamente à adubação potássica, enquanto que entre as espécies secundárias apenas o cedro respondeu ao K. Na interação entre K e Fe (Figura 6c), observou-se um decréscimo na MSR com a adubação de Fe em altas doses de K. Missio (2002) observou resposta quadrática à adubação férrica, sendo que a dose de 3,7 mg kg⁻¹ de Fe, na presença de 180 mg kg⁻¹ de P, proporcionou a menor produção da matéria seca das raízes.

A matéria seca total (MST) teve sua produção aumentada com o incremento das doses de P aplicadas ao solo (Figura 6a). Tais resultados se assemelham àqueles apresentados por Barbosa et al. (1997), Oliveira et al. (1998), Resende et al. (1999), Ceconi et al. (2003), Paula et al. (2003), Ceconi et al. (2004) e Schumacher et al. (2004), trabalhando com diferentes espécies arbóreas, onde a maior produção foi obtida nas doses acima da maior dose utilizada neste estudo. Houve, também, efeito da interação entre as adubações de potássio e o ferro (Figura 6d), sendo que as maiores doses de K e menores de Fe proporcionaram a maior produção da MST.

Entretanto, Missio (2002) estudando o efeito da adubação conjunta de P e Fe, observou que a produção da MST das plantas de grápia respondeu de forma linear positiva as doses crescentes de Fe aplicada ao substrato, na presença de 180 mg kg⁻¹ de P.

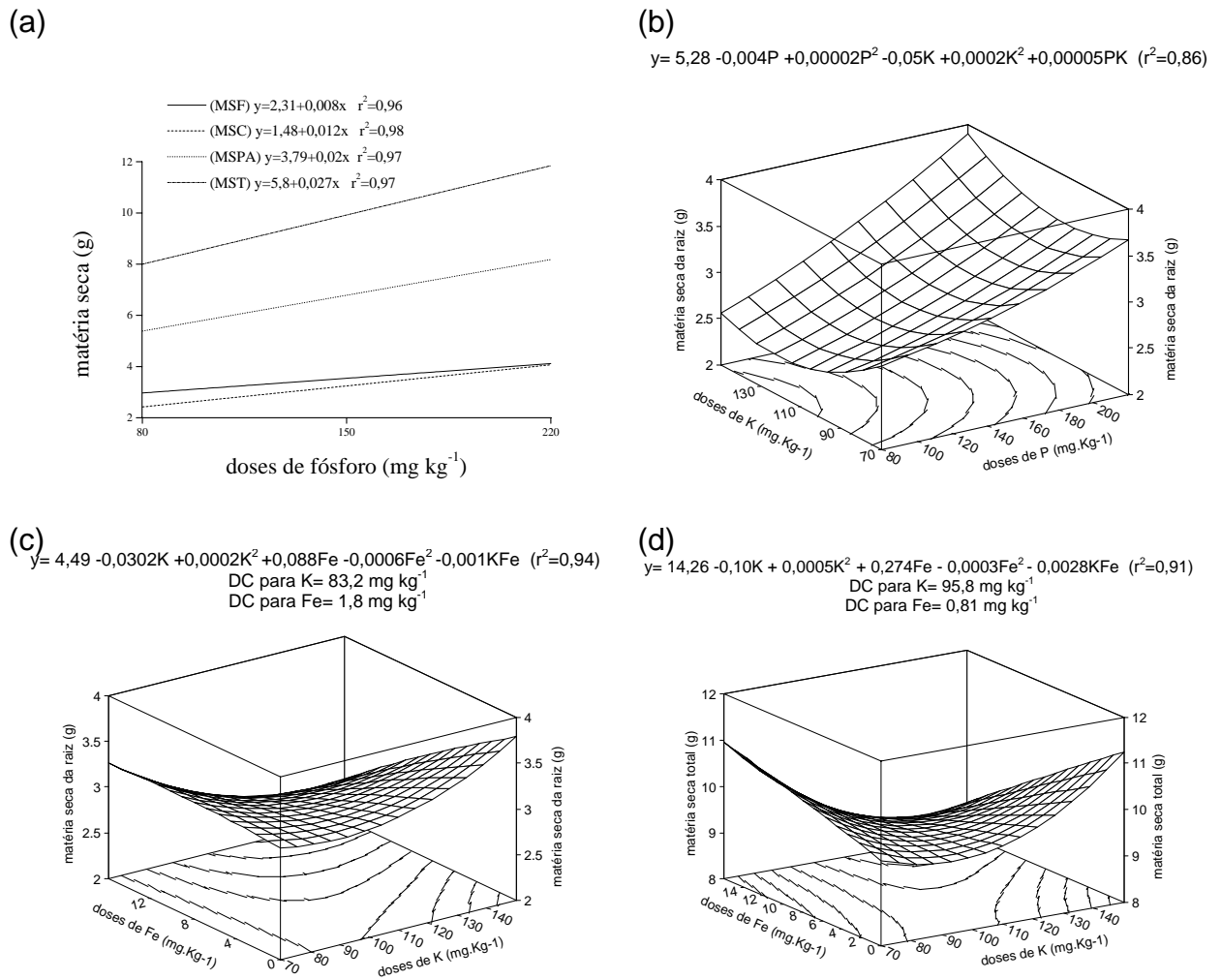


Figura 6 - Efeito da adubação isolada de P na matéria seca da folha, do caule, da parte aérea e total de planta (a), da adubação conjunta entre P e K (b) e entre K e Fe (c) na matéria seca das raízes e da adubação conjunta entre K e Fe (d) na matéria seca total de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

Houve interação entre as adubações de P e K (Figura 7a) na relação entre a matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea (MSR/MSPA), sendo que as doses de 205,1 mg kg⁻¹ e 88,9 mg kg⁻¹ para P e K, respectivamente, proporcionaram a menor relação MSR/MSPA. Comportamento semelhante foi obtido com a grápia por Nicoloso et al. (2001), Missio (2002) e Missio et al. (2004) e com outras espécies

arbóreas (Braga et al., 1995; Proe & Millard, 1995; Barbosa et al., 1997; Daniel et al., 1997; Renó et al., 1997 e Paula et al., 2003). Também foi observado efeito da adubação isolada de Fe (Figura 7b), onde doses crescentes de Fe proporcionaram uma menor relação MSR/MSPA.

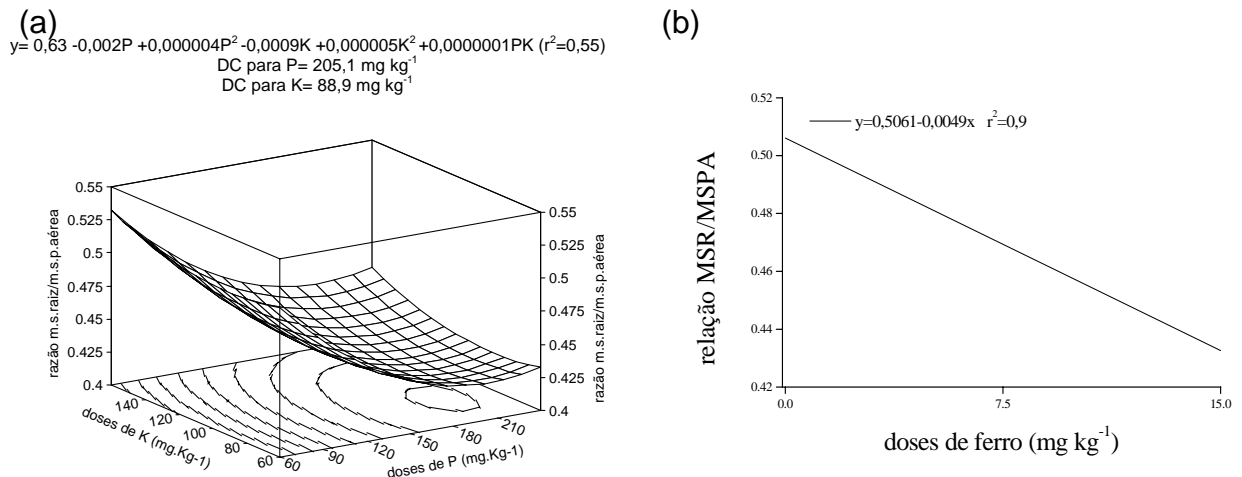


Figura 7 - Efeito da adubação conjunta de P e K (a) e da adubação isolada de Fe (b) na relação MSR/MSPA em plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

Clarkson (1985) comenta que a relação MSR/MSPA é maior em ambiente de baixa fertilidade. Todavia, a variação da relação obtida no presente estudo ficou dentro dos valores mencionados por Daniel et al. (1997), como ideal para a produção de mudas de *Acacia mangium*, proporcionando uma grande e estável alocação da matéria seca para a parte aérea.

A avaliação de tal relação tem sido usada como indicador do nível nutricional das plantas no que diz respeito à adubação fosfatada, onde, em geral, à medida que a disponibilidade desse nutriente é aumentada no substrato, tem-se um menor crescimento radicular em virtude de uma incorporação dos produtos da fotossíntese, principalmente, nos órgãos aéreos (Resende et al., 1999).

4.2 Teor de nutrientes no solo

A aplicação de adubação fosfatada no solo, cujo nível sem adubação era considerado muito baixo, elevou os teores de P disponível no solo para os níveis considerados médio na aplicação de 80 mg kg^{-1} até níveis considerados muito alto, quando aplicou-se 220 mg kg^{-1} (Tabela 1) (CQFS, 2004).

O teor de K no solo, que encontrava-se em níveis baixos na condição natural, aumentou para o médio na menor dose de K aplicada, chegando a teores muito alto na maior dose aplicada.

A aplicação de $71,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de cálcio, como adubação suplementar, não foi suficiente para aumentar o teor de Ca trocável, sendo que os teores encontrados nas diferentes amostras permaneceram dentro da faixa considerada baixa (Tabela 1). Por outro lado, a aplicação de $35,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mg elevou o teor desse nutriente para o nível médio.

A aplicação de Fe, na forma de Fe-EDTA, não proporcionou o aumento do teor desse nutriente no solo. Contudo, a aplicação de fósforo aumentou os teores de Fe quando extraídos por FeEDTA (Tabela 1).

Embora não tenha sido efetuada a adubação suplementar de Zn e Cu, observou-se que a aplicação das adubações causaram o acréscimo no teor de Zn em relação àquela da condição natural, enquanto o teor de Cu não foi alterado.

Tabela 1 - Características físico-químicas do horizonte A de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico sem adubação (condição natural) e com adubação, ao término do período experimental.

Doses	pH água	% argila	P ^(I)	K ^(II)	% M.O	Al	Ca ^(III)	Mg ^(III)	Sat. Al	Sat. Bases	Cu	Zn	FeEDTA ^(III)	Feoxal ^(IV)	Fe-DCB ^(V)
P - K - Fe	(1:1)	m/V	(mg kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)	m/V	(cmol _c dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)	(cmol _c dm ⁻³)	%	%	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Cond. natural	4,3	18	1,0	32,0	1,4	1,4	1,4	0,4	43	39	1,1	1,6	102,6	1,23	13,93
80-70-0	4,2	19	24,3	48,0	1,4	1,2	1,6	0,6	34	44	1,0	3,4	149,0	1,22	13,79
80-70-7,5	4,3	18	21,8	36,0	1,3	1,1	1,7	0,6	31	42	1,1	3,3	125,8	1,20	13,14
80-70-15	4,2	16	26,0	40,0	1,3	1,1	1,6	0,6	32	41	1,1	3,6	166,4	1,26	13,85
80-110-0	4,2	19	20,2	102,0	1,3	1,1	1,6	0,6	31	43	1,0	3,3	127,7	1,19	14,06
80-110-7,5	4,1	18	21,6	110,0	1,3	1,1	1,7	0,6	30	42	1,1	3,4	147,1	1,21	13,50
80-110-15	4,1	18	28,1	128,0	1,3	1,0	2,0	0,8	24	47	1,1	4,0	154,8	1,39	13,52
80-150-0	4,2	19	18,8	126,0	1,4	1,1	1,7	0,6	30	47	1,0	3,6	151,0	1,33	14,50
80-150-7,5	4,2	17	19,1	136,0	1,4	1,1	1,8	0,7	28	44	1,1	3,5	158,7	1,20	12,32
80-150-15	4,1	17	21,3	148,0	1,4	1,1	1,9	0,7	27	48	1,2	4,1	180,0	1,32	14,62
150-70-0	4,4	18	45,1	52,0	1,4	1,0	1,7	0,6	29	38	1,0	3,5	137,4	1,24	14,05
150-70-7,5	4,4	18	40,5	54,0	1,4	1,0	1,8	0,6	28	42	1,1	3,4	183,9	1,31	12,21
150-70-15	4,4	18	49,7	66,0	1,4	0,9	1,8	0,7	25	45	1,2	3,9	154,8	1,36	13,37
150-110-0	4,4	18	38,7	96,0	1,4	1,1	1,7	0,7	29	45	1,2	3,4	162,6	1,33	12,07
150-110-7,5	4,2	17	42,0	93,0	1,4	1,0	1,7	0,6	27	43	1,1	3,5	166,4	1,46	12,54
150-110-15	4,2	17	41,5	82,0	1,3	1,0	1,7	0,6	28	46	1,2	3,3	181,9	1,30	13,48
150-150-0	4,2	17	48,5	196,0	1,4	0,9	1,8	0,6	24	47	1,1	3,4	152,9	1,32	13,34
150-150-7,5	4,3	16	53,5	194,0	1,4	0,9	1,7	0,6	24	44	1,0	3,3	156,8	1,27	13,05
150-150-15	4,2	18	48,8	200,0	1,4	0,9	2,0	0,6	22	51	1,2	3,2	164,5	1,30	13,13
220-70-0	4,4	20	59,8	50,0	1,4	1,0	2,0	0,7	26	46	1,2	3,2	176,1	1,34	13,30
220-70-7,5	4,7	19	57,8	48,0	1,4	0,9	1,9	0,6	26	47	1,2	3,2	187,7	1,39	12,92
220-70-15	4,6	17	70,0	42,0	1,4	0,9	1,8	0,7	26	47	1,1	3,1	180,0	1,35	13,90
220-110-0	4,6	17	63,1	72,0	1,3	0,9	2,0	0,6	24	46	1,2	3,4	151,0	1,27	12,37
220-110-7,5	4,6	17	62,7	74,0	1,4	0,9	2,1	0,7	23	50	1,1	3,6	178,0	1,35	11,56
220-110-15	4,5	17	57,8	74,0	1,3	0,9	2,0	0,7	24	49	1,0	3,2	151,0	1,39	11,70
220-150-0	4,6	19	58,7	100,0	1,3	1,0	1,9	0,6	27	50	1,1	3,3	166,4	1,20	11,56
220-150-7,5	4,5	19	62,4	106,0	1,3	0,9	2,3	0,8	21	53	1,1	3,4	207,1	1,38	12,96
220-150-15	4,5	20	58,1	94,0	1,4	1,0	2,0	0,7	25	50	1,1	3,3	201,3	1,36	13,06

^(I) Extrator Mehlich-1; ^(II) Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ^(III) Extrator EDTA 0.1 mol L⁻¹; ^(IV) Extrator Oxalato de Amônio; ^(V) Extrator Ditionito-Citrato-Bicarbonato.

4.3 Teor e quantidade total de macronutrientes nas folhas

4.3.1 Fósforo (P)

O teor (Figura 8a) e quantidade total (Figura 8b) de fósforo nas folhas de grápia aumentaram com a adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram obtidos em grápia por Nicoloso et al. (1999), Fogaça (1999) e Missio (2002) e para outras espécies arbóreas como a aroeirinha (*Schinus terenbinthifolius* Raddi), paineira (*Chorisia speciosa* St. Hill.) e jambolão (*Syzygium jambolanum* Lam.) por Fernandes et al. (2000), acácia (*Acacia mangium* Willd.) por Balieiro et al. (2001) e para eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) por Paula et al. (2003). O teor de P nas folhas de grápia foi de 0,14% na menor dose aplicada, aumentando para 0,49% quando aplicou-se 220 mg kg⁻¹ de P. Missio (2002) registrou concentrações que variaram de 0,06%, quando não foi aplicado P no substrato, a 0,35%, na dose de 180 mg kg⁻¹ de P. Já Fogaça (1999), encontrou concentração de 0,19% nas folhas de grápia ao aplicar 80 mg kg⁻¹ de P no solo.

Gonçalves et al. (1992) relataram teor médio de P de 0,25% na parte aérea de mudas sadias de canafístula (*Peltophorum dubium*). Braga et al. (1995) registraram teores de P próximos a 0,17% e 0,13% na parte aérea de mudas de quaresmeira (*Tibouchina granulosa* Cogn.) e pereira (*Platygyamus regnellii* Benth.), respectivamente, quando acrescentou 160 mg kg⁻¹ de P ao substrato. Furtini Neto et al. (2000) comentam que as espécies pioneiras têm sido mais responsivas à fertilização fosfatada, apresentando maior absorção e acúmulo desse nutriente na parte aérea.

Contrariamente ao constatado por Fogaça (1999), observou-se que o teor (Figura 8c) e a quantidade total (Figura 8d) de P nas folhas foram maiores nas menores doses de K. Em estudos moleculares realizados em cevada, Smith et al. (1999 apud Wang et al., 2002) constataram que a expressão gênica de transportadores de P de alta afinidade aumentaram pela deficiência de potássio.

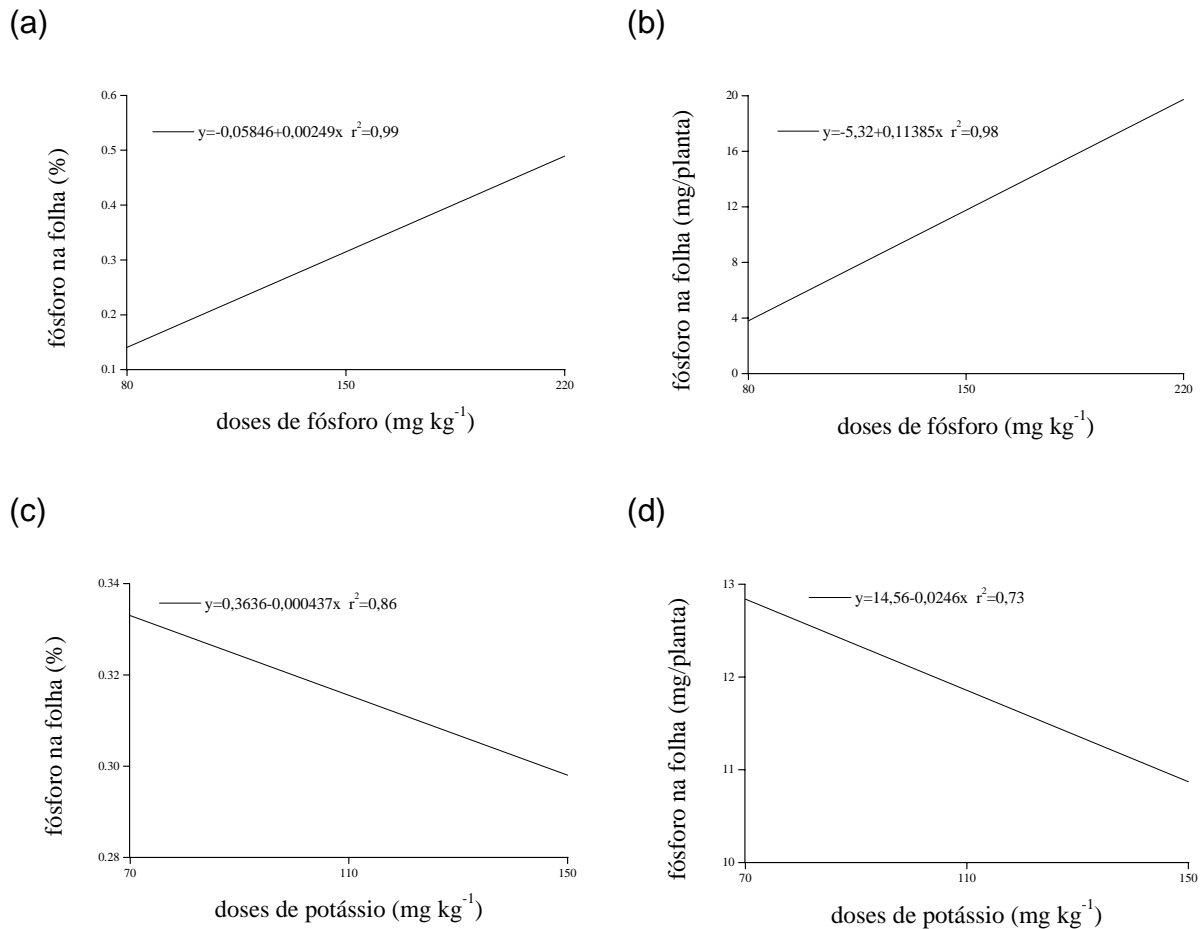


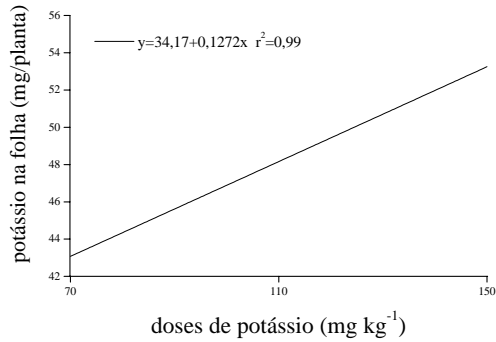
Figura 8 - Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e quantidade total (b) de P e da adubação potássica no teor (c) e quantidade total (d) de P nas folhas de plantas jovens de grábia, aos 180 DAA.

4.3.2 Potássio (K)

Houve resposta linear positiva da adubação potássica na quantidade total de potássio nas folhas de grábia (Figura 9a). Também verificou-se interação da adubação de P e K no teor de potássio nas folhas (Figura 9b), cujas doses 153,2 e 159,8 mg kg^{-1} para P e K, respectivamente, proporcionaram o maior teor desse nutriente nas folhas. Missio (2002) relatou que os teores de K nas folhas variaram apenas em função da adubação fosfatada, sendo que esta diminuiu com o aumento das doses de P. Fogaça (1999) comenta que o acúmulo de K nas folhas de grábia respondeu à adubação conjunta de N e K bem como de P e K, sendo que o maior acúmulo foi obtido nas doses em torno de 80 mg kg^{-1} para N, P e K. Para Missio (2002), a quantidade total de K nas folhas dependeu da interação da adubação de P

e S, cujo maior acúmulo foi obtido nas doses de 157,5 mg kg⁻¹ e 20,4 mg kg⁻¹ para P e S, respectivamente.

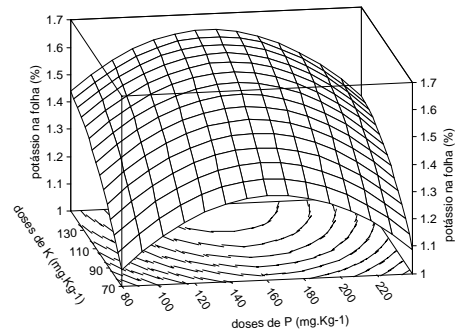
(a)



(b)

$$y = -0,47 + 0,012P - 0,00004P^2 + 0,014K - 0,000042K^2 - 0,000007PK \quad (r^2 = 0,90)$$

DC para P = 153,2 mg kg⁻¹
DC para K = 159,8 mg kg⁻¹



(c)

$$y = 6,04 + 0,53P - 0,0015P^2 - 0,7831Fe - 0,0072Fe^2 + 0,0057PFe \quad (r^2 = 0,96)$$

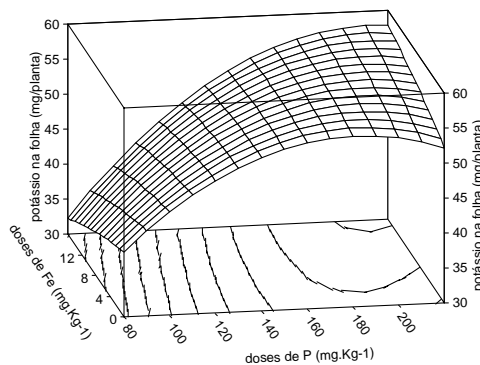


Figura 9 - Efeito da adubação isolada de K na quantidade total de K (a) nas folhas e da adubação de conjunta de P e K no teor (b) e quantidade total (c) de K nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

A quantidade total de K nas folhas aumentou pela adubação conjunta de P e Fe (Figura 9c). A relação do teor entre P, K e Fe pode causar alterações no nível nutricional das plantas, resultando em modificações na expressão gênica relacionada à nutrição mineral, trazendo efeitos benéficos aos vegetais (Wang et al., 2002). Pesquisas moleculares realizadas em resposta à deficiência de P, K e Fe e ao fornecimento de nitrato em raízes de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) induziram a expressão de transportadores de nitrato, P, K e Fe (Wang et al., 2001 e 2002).

4.3.3 Cálcio (Ca)

O teor de Ca nas folhas de grápia apresentou interação significativa entre P, K e Fe. Com relação à adubação conjunta de P e K (Figura 10a), observou-se que o teor de Ca encontrado nas folhas diminuiu com o aumento das doses de P e K. Na adubação conjunta de P e Fe (Figura 10b), observou-se que o aumento das doses de P proporcionou decréscimo no teor de Ca e, enquanto que as doses de Fe parece ter tido pouca influência neste parâmetro. Para Nicoloso et al. (1999) e Fogaça (1999), a aplicação de NPK não influenciou o teor de Ca nas folhas. Missio (2002) encontrou resposta isolada à adubação de P e S quanto ao teor de Ca nos tecidos da planta, sendo que na ausência de P e S ocorreram as maiores concentrações de Ca na planta. O mesmo autor atribui tal resultado ao efeito provável da diluição de cálcio na folha com o aumento das doses de P e S, causado pelo maior crescimento da planta. Balieiro et al. (2001) também obtiveram menores teores de Ca na parte aérea de plantas de *Acacia holosericea* e *A. auriculiformis*, em função das crescentes doses de P e S aplicadas ao solo.

Para a adubação conjunta de K e Fe, observou-se que a maior dose de K associado a menor dose de Fe aplicada no solo, proporcionou menor teor de Ca nas folhas de grápia (Figura 10c).

De maneira contrária ao observado para o teor de Ca na folha, a quantidade total de Ca (Figura 10d) aumentou pelo acréscimo de P no solo, porém, junto a dose de 108,7 mg kg⁻¹ de K, observou-se menor quantidade total de Ca nas folhas. Renó et al. (1997) observaram elevação no teor e conteúdo de Ca no tecido vegetal de cedro (*Cedrela fissilis*) pela omissão de K, indicando a existência de competição entre eles. Valeri et al. (1985), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, também observaram efeito antagônico entre o Ca e o K.

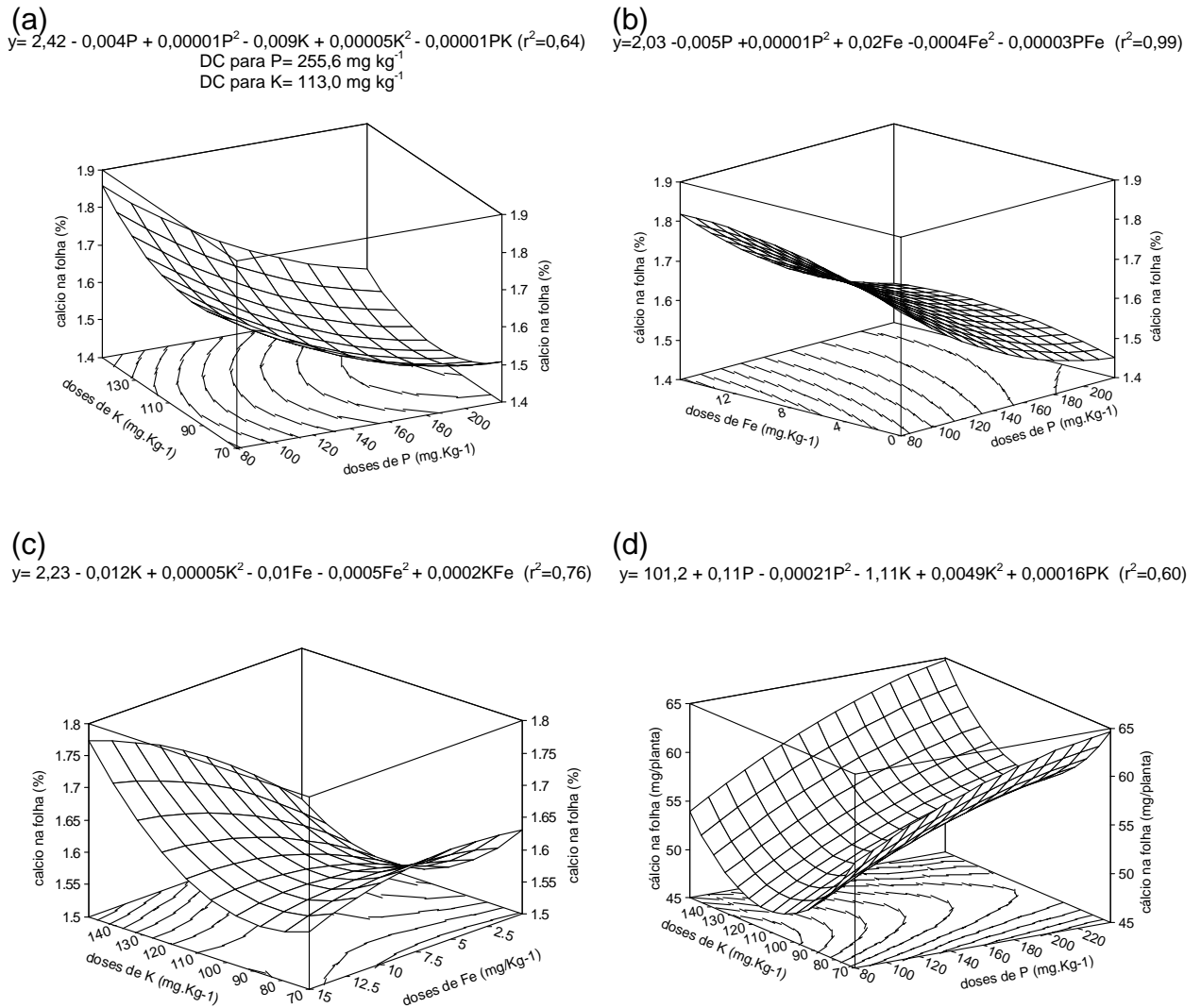


Figura 10 - Efeito da adubação conjunta de P e K no teor (a) e quantidade total (d) de Ca nas folhas, da adubação conjunta de P e Fe (b) e de K e Fe (c) no teor de Ca nas folhas de plantas jovens de grávia, aos 180 DAA.

4.3.4 Magnésio (Mg)

Com o aumento das doses de P no solo observou-se resposta linear positiva no teor (Figura 11a) e quantidade total (Figura 11b) de Mg nas folhas de grávia. Já Balieiro et al. (2001), trabalhando com mudas de acácia em resposta à calagem e a fertilização de P, K e S, encontraram teores de Mg na parte aérea das mudas inversamente relacionadas ao aumento das doses de P no substrato. Já nas doses crescentes de P e S, associadas com a adubação de Ca e Mg, esses autores constataram diminuição no conteúdo de Mg devido ao maior crescimento das

plantas. Missio (2002) salienta que o teor de Mg nas folhas de grápia respondeu positivamente à adubação conjunta de P e S, sendo que as doses críticas ficaram acima daquelas utilizadas.

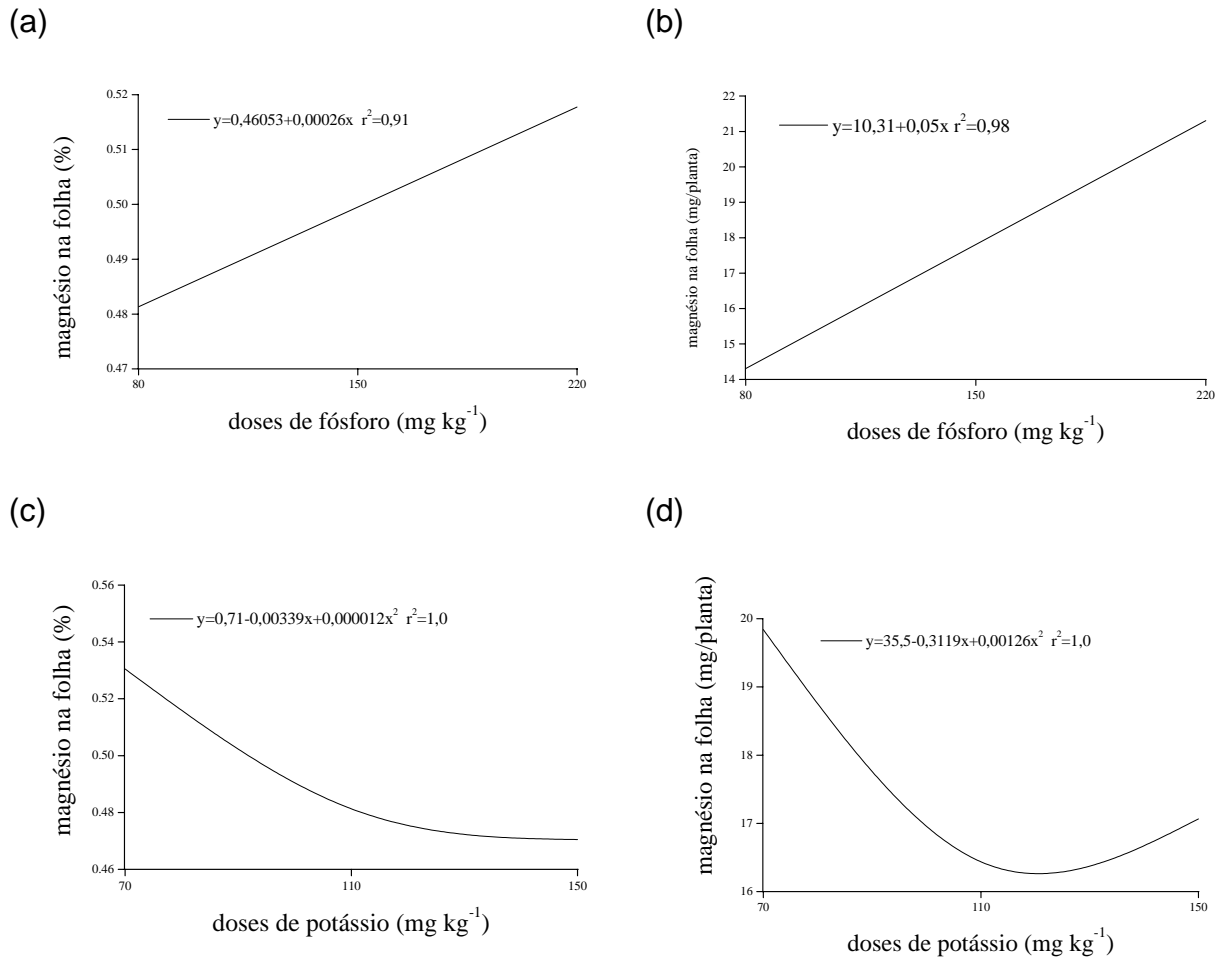


Figura 11 - Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e na quantidade total (b) de Mg nas folhas e, da adubação potássica no teor (c) e quantidade total (d) de Mg nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

O teor (Figura 11c) e a quantidade total (Figura 11d) de Mg nas folhas apresentou resposta quadrática ao K, com dose crítica de 141,2 mg kg⁻¹ e 123,8 mg kg⁻¹, respectivamente. Renó et al. (1997) observaram que os teores de Ca e Mg na parte aérea de canafístula (*Senna multijuga*) foram mais elevados nos tratamentos com omissão de K, Mg, Zn e Cu. Venturin et al. (1999) observaram que o teor de Mg na parte aérea de mudas de angico-amarelo (*Peltophorum dubium*) foi favorecida pela omissão de K, Ca e S na adubação, indicando a competição entre esses

elementos. Fogaça (1999) também encontrou, em grápia, menor concentração de Mg na presença das maiores doses de K aplicadas.

4.4 Teor e quantidade total de micronutrientes nas folhas

4.4.1 Ferro (Fe)

O teor (Figura 12a) e a quantidade total (Figura 12b) de Fe aumentaram com a elevação das doses de P aplicadas no solo. Também Missio (2002) observou que aumentando-se o teor de P no solo ocorre aumento dos teores de Fe nas folhas de grápia. Fogaça (1999) observou semelhante comportamento até a dose de 40 mg kg⁻¹ de P aplicada ao solo, sendo que doses acima desta promoveram uma queda nos teores de Fe. Os teores encontrados nas folhas ficaram entre 157,0 e 246 mg kg⁻¹, quando aplicou-se, respectivamente, 80 e 220 mg kg⁻¹ de P. Sendo que os maiores teores ficaram bem acima daqueles encontrados por Missio (2002) utilizando menores doses de P e Fe e, também acima daqueles considerados adequados para plantas adultas de *Eucalyptus* e *Pinus* (Gonçalves & Valeri, 2001). Braga et al. (1995), estudando a exigência nutricional de 4 espécies florestais, observaram teores crescentes de Fe na parte aérea de plantas de pereira e peroba-rosa, em função da aplicação de P no solo.

Em estudos com plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* cv. SR1), Vansuy et al. (2003) observaram que o aumento na concentração de P na solução nutritiva causaram maior aumento da atividade da H⁺-ATPase e da enzima quelato Fe(III) redutase, em relação às plantas deficientes em Fe que não receberam doses elevadas de P na solução.

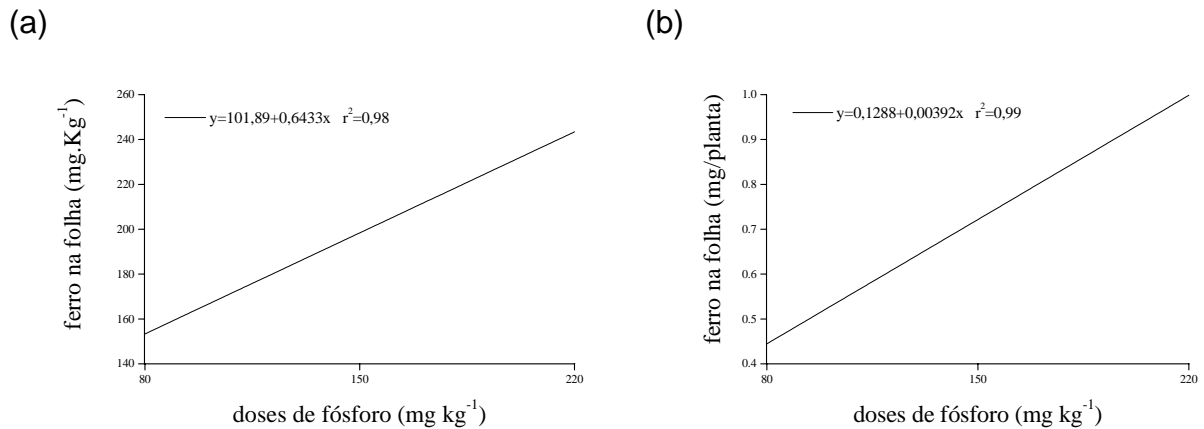


Figura 12 - Efeito da adubação fosfatada no teor (a) e quantidade total (b) de Fe nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

A partir dos 30 DAA, a percentagem de folhas com clorose típica de deficiência de Fe aumentou com o acréscimo das doses de P no substrato, (Figuras 13 e 14). A adubação potássica, quando associada à adubação fosfatada, ao contrário do esperado, contribuiu para o aumento da percentagem de folhas cloróticas com o aumento da disponibilidade de K aos 30 DAA (Figuras 13a). Até os 90 DAA, a aplicação de Fe junto as adubações de P e Fe causou diminuição da percentagem de folhas cloróticas, porém ainda observou-se folhas com clorose internerval até esse período (Figuras 13b, 13c, 13d, 14a e 14b).

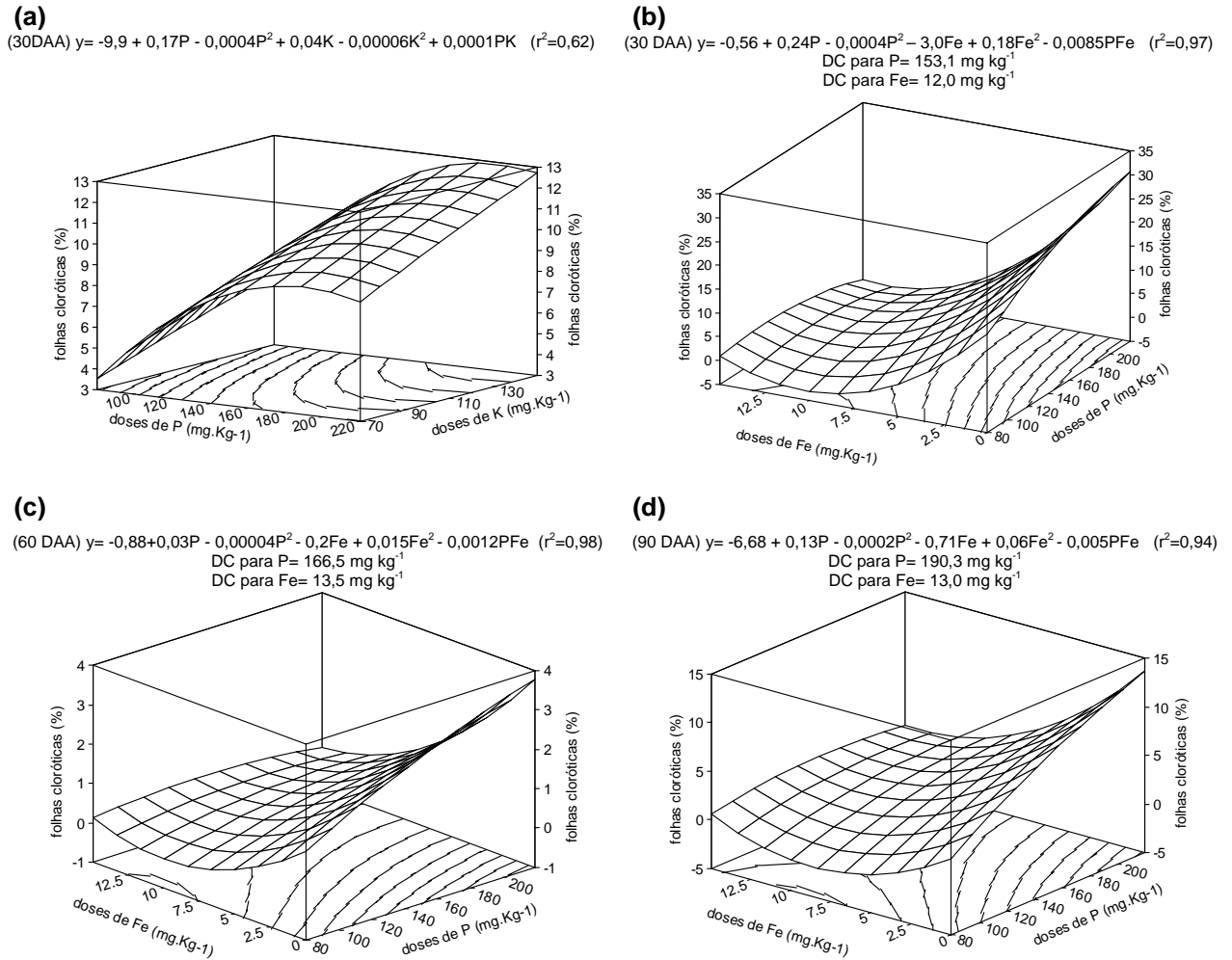


Figura 13 – Efeito da adubação conjunta de P e K na percentagem de folhas cloróticas de plantas jovens de grápia aos 30 DAA (a) e da adubação conjunta de P e Fe aos 30 DAA (b), 60 DAA (c) e 90 DAA (d).

Já aos 120 DAA e 150 DAA (Figuras 14c e 14d), observou-se apenas resposta linear positiva da adubação fosfatada na percentagem de folhas cloróticas.

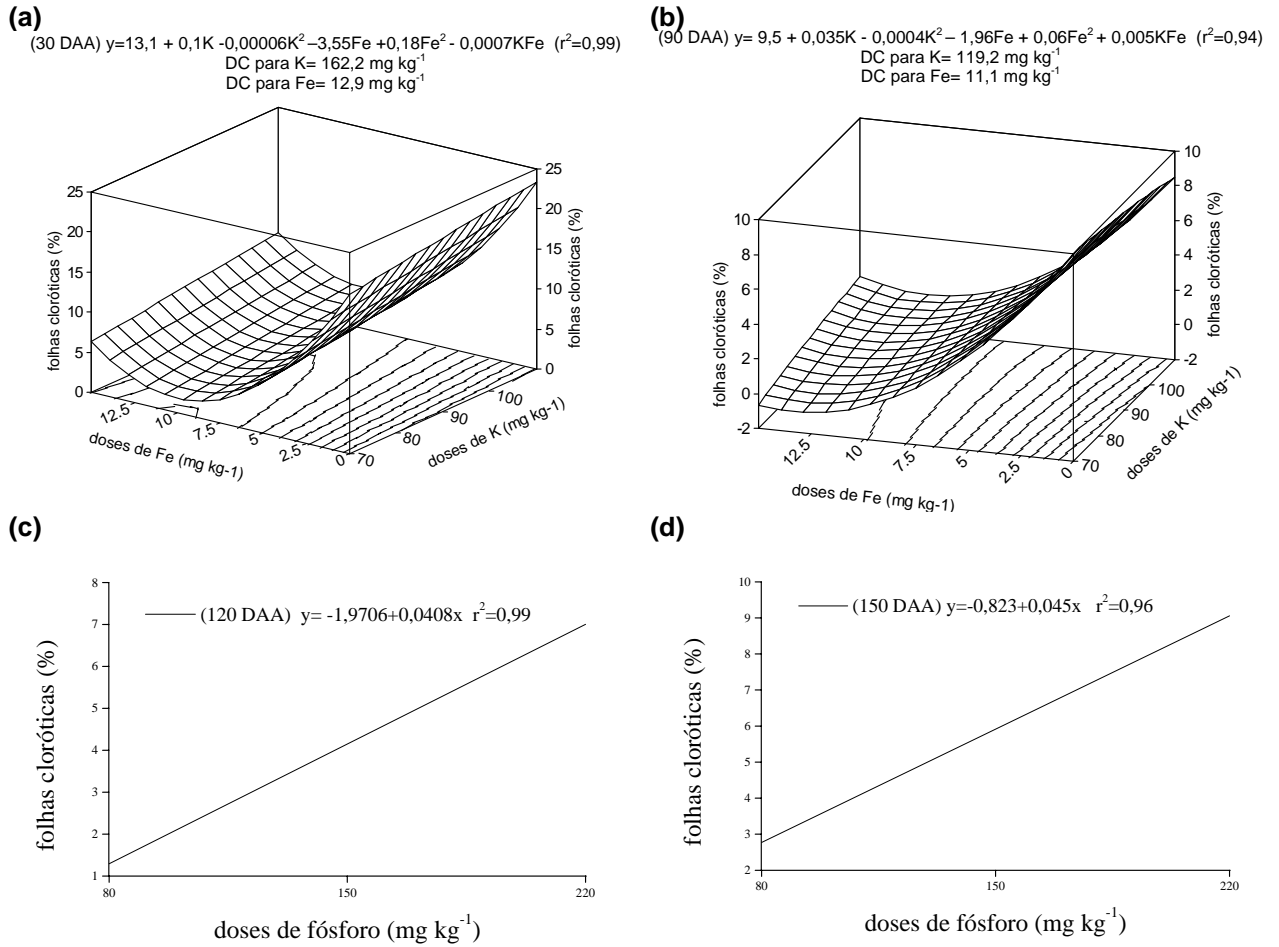


Figura 14 – Efeito da adubação conjunta de P e Fe na porcentagem de folhas cloróticas de plantas jovens de grábia aos 60 DAA (a) e da adubação isolada de P aos 120 DAA (b) e aos 150 DAA (c).

Houve resposta quadrática da adubação de Fe para o teor (Figura 15a) e resposta linear para quantidade total (Figura 15b) de Fe nas folhas de grábia. Contudo, o fornecimento desse nutriente não foi suficiente para impedir o aparecimento de clorose nas maiores doses de P (Figuras 13 e 14).

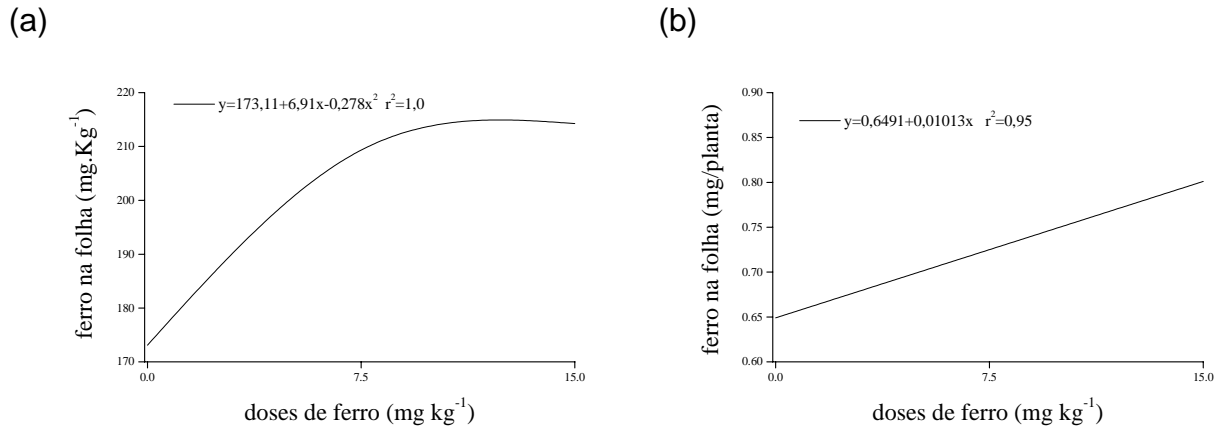


Figura 15 - Efeito da adubação férrica no teor (a) a quantidade total (b) de Fe nas folhas de plantas jovens de grábia, aos 180 DAA.

Além disso, aos 150 DAA observou-se que o aumento da dose de P (Figura 16a) e de Fe (Figura 16b) na adubação provocaram redução da taxa de formação do porfobilinogênio, precursor da porfirina, indicando que, provavelmente, parte do Fe absorvido estaria de alguma maneira indisponível no tecido (nas células), não participando das reações como, por exemplo, de síntese de clorofila uma vez que essa enzima participa na rota de biosíntese dessas moléculas.

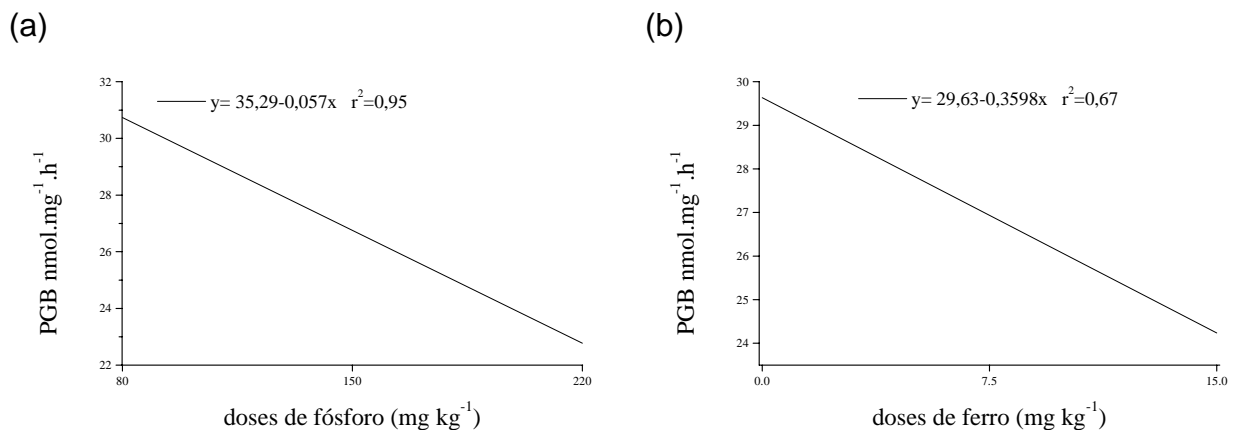


Figura 16 - Efeito da adubação isolada de P (a) e Fe (b) na formação do porfobilinogênio em folhas de plantas jovens grábia, aos 150 DAA

Diversos trabalhos têm mostrado que as folhas podem apresentar sintomas de deficiência de Fe mesmo apresentando teores relativamente alto deste micronutriente na planta. Para Breckle & Kahle (1992), a ocorrência de clorose

internerval poderia estar relacionada à deficiência múltipla de vários elementos participantes da formação, multiplicação e funcionamento de cloroplastos ou na síntese de clorofila. O elevado fornecimento de nitrato às plantas também poderia contribuir com o aparecimento de clorose nas folhas jovens (Mengel & Geurtzen, 1988) em função desse íon ser transportado para dentro da célula sob co-transporte com íons H^+ , provocando o aumento do pH do apoplasto (Hoffmann et al., 1992; Kosegarten et al., 1998), permitindo assim a imobilização e acumulação de Fe em formas inativas dentro das folhas. Além disso, uma proporção de Fe estaria insolúvel no apoplasto devido aos íons Fe(III) serem reativos e apresentarem limitada solubilidade, podendo ser quelados após a absorção dentro da planta (Schmidt, 2003b). Vansuy et al. (2003) comentam que interações, a nível celular, entre o P e o Fe podem ocorrer na parede celular, induzindo a uma imobilização destes elementos e, conseqüentemente, provocando sintomas de deficiência de Fe.

4.4.2 Zinco (Zn)

Observou-se resposta da adubação conjunta de P e K no teor de Zn (Figura 17a) das folhas de grápia, sendo que o aumento da disponibilidade de P proporcionou o aumento no teor de $44,0 \text{ mg kg}^{-1}$, na dose de 80 mg kg^{-1} , para $51,5 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de 220 mg kg^{-1} , quando associado a maior dose de K. Comportamento semelhante foi observado nessa espécie por Missio et al. (2002) e para a quaresmeira por Braga et al. (1995). Já a adubação potássica parece ter tido pouca influência nesse parâmetro. Fogaça (1999), trabalhando com doses de até 80 mg kg^{-1} de K, observou aumento do teor de Zn com a elevação das doses de K. Os teores obtidos neste estudo encontram-se dentro da faixa adequada para o desenvolvimento de araucária, pinus (Malavolta et al., 1997) e eucalipto (Couto et al., 1985; Malavolta et al., 1997).

O aumento da disponibilidade de P no solo proporcionou efeito positivo na quantidade total de Zn (Figura 17b) nas folhas da grápia. Tal efeito também foi observado em mudas de angico-amarelo (Venturin et al., 1999).

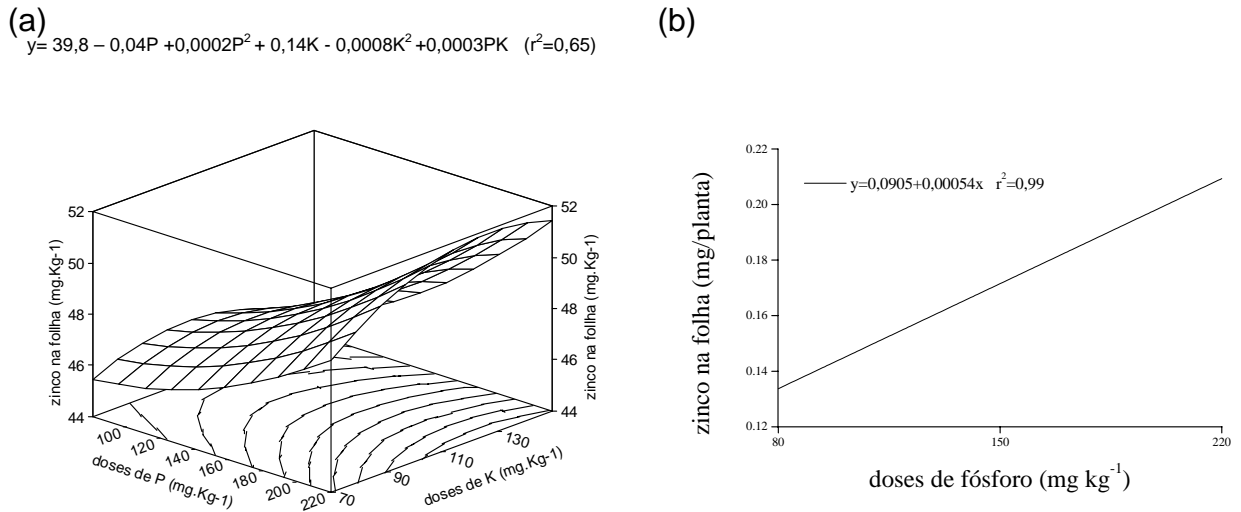


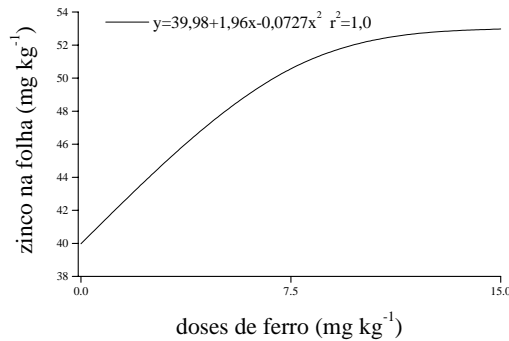
Figura 17 - Efeito da adubação conjunta de P e K no teor de Zn (a) e da adubação fosfatada na quantidade total de Zn (b) nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

Huang et al. (2000), trabalhando com plantas de cevada, verificaram que a expressão de genes transportadores de fosfato foi induzida pela deficiência de Zn em mudas deficientes e não deficientes em P. Os mesmos autores comentam que esse comportamento poderia ajudar a explicar a observação de que a toxidez de P induziria a deficiência de Zn.

Também, verificou-se resposta quadrática da adubação isolada de Fe no teor de Zn (Figura 18a) nas folhas de grápia. Martinês et al. (1992), trabalhando com 3 variedades de *Pinus caribea*, verificaram aumento do teor de Zn nas acículas em função da aplicação de Fe na solução. Por outro lado, Soares et al. (2001), trabalhando com toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva, observaram que o aumento do teor de Zn na solução reduziu o teor de Fe. Woolhouse (1983 apud Soares et al., 2001) sugere que o antagonismo entre Zn e Fe é resultante da semelhança dos raios iônicos destes elementos. Todavia tal efeito não foi observado no presente estudo.

Já a quantidade total de Zn (Figura 18b) nas folhas de grápia respondeu de forma linear positiva a aplicação de Fe.

(a)



(b)

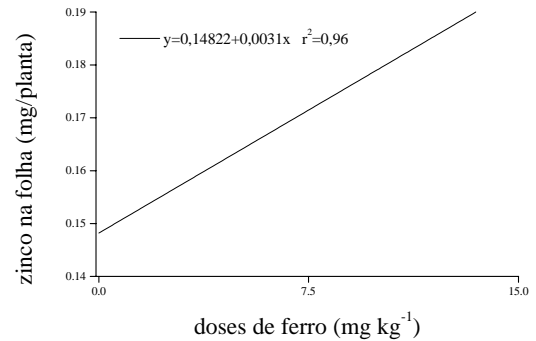


Figura 18 - Efeito da adubação férrica no teor (a) e quantidade total (b) de Zn nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

4.4.3 Cobre (Cu)

Embora os teores de Cu no solo não terem sido influenciados pela aplicação das adubações (Tabela 1), verificou-se interação tripla das adubações utilizadas no teor e na quantidade total de cobre nas folhas.

Doses próximas a 170 mg kg⁻¹ de P em conjunto com as adubações de K e Fe reduziram os teores de Cu (Figuras 19a e 19b). Por outro lado, as adubações de K e Fe aumentaram o teor de Cu nas folhas até as doses de 122,5 mg kg⁻¹ e 8,8 mg kg⁻¹ para K e Fe, respectivamente (Figura 19c).

Os teores médios de cobre encontrados nas folhas de grápia variaram de 1,9 a 2,9 mg kg⁻¹ de Cu. Valores aproximados também foram encontrados por Fogaça (1999) e Missio (2002) em folhas de grápia. Contudo, esses valores ficaram abaixo daqueles adequados para plantas adultas de *Eucalyptus* e *Pinus* (Gonçalves & Valeri, 2001). Mengel & Kirby (1982) comentam que o Cu é absorvido em pequenas quantidades pelos vegetais, sendo que o teor desse nutriente no tecido vegetal situa-se, geralmente, entre 2 e 20 mg kg⁻¹.

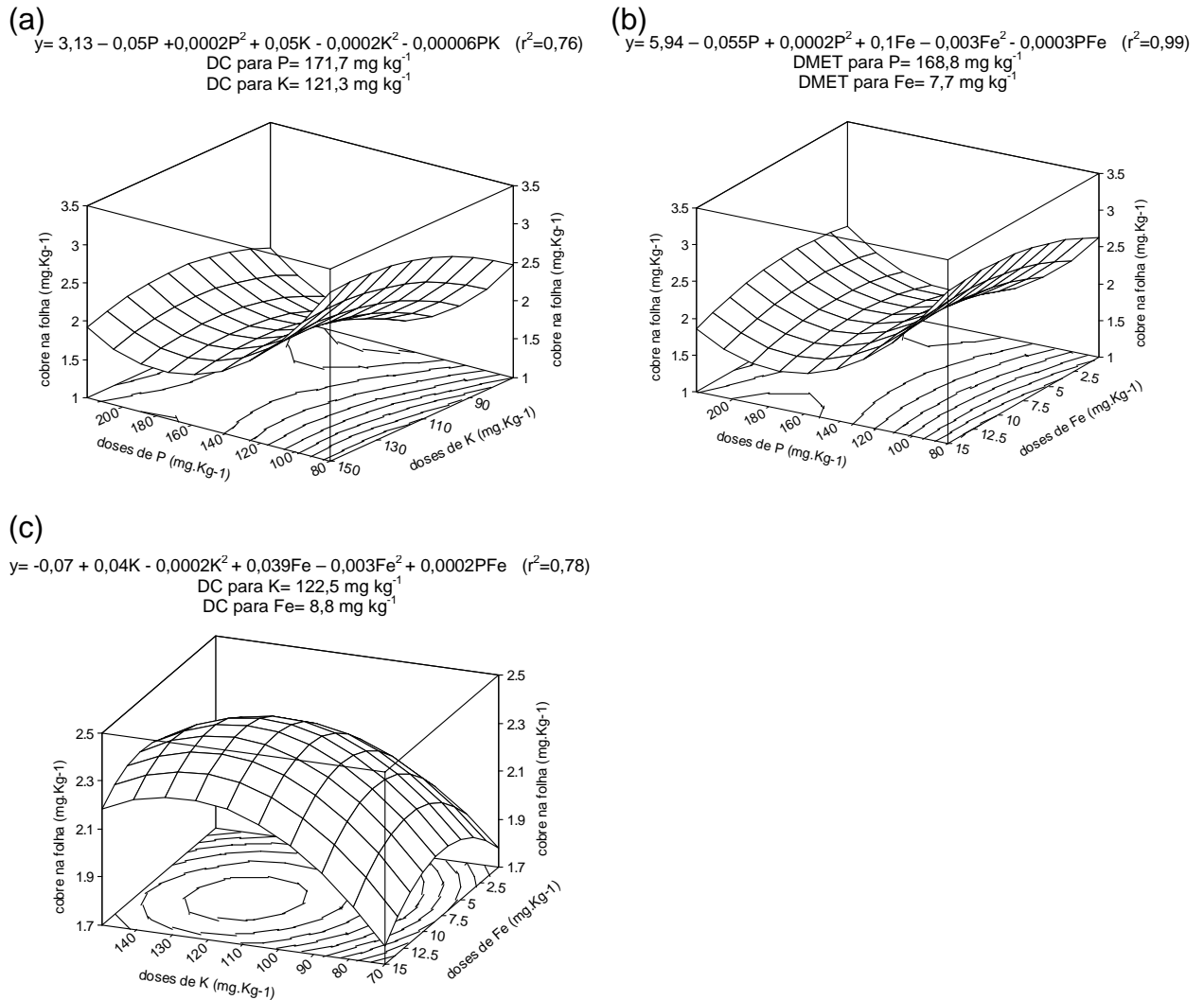


Figura 19 - Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e, K e Fe (c) no teor de cobre nas folhas de plantas jovens de grábia, aos 180 DAA

Com relação à quantidade total de Cu nas folhas de grábia, observou-se comportamento semelhante àqueles encontrados para o teor quanto às adubações aplicadas (Figura 20a, 20b e 20c).

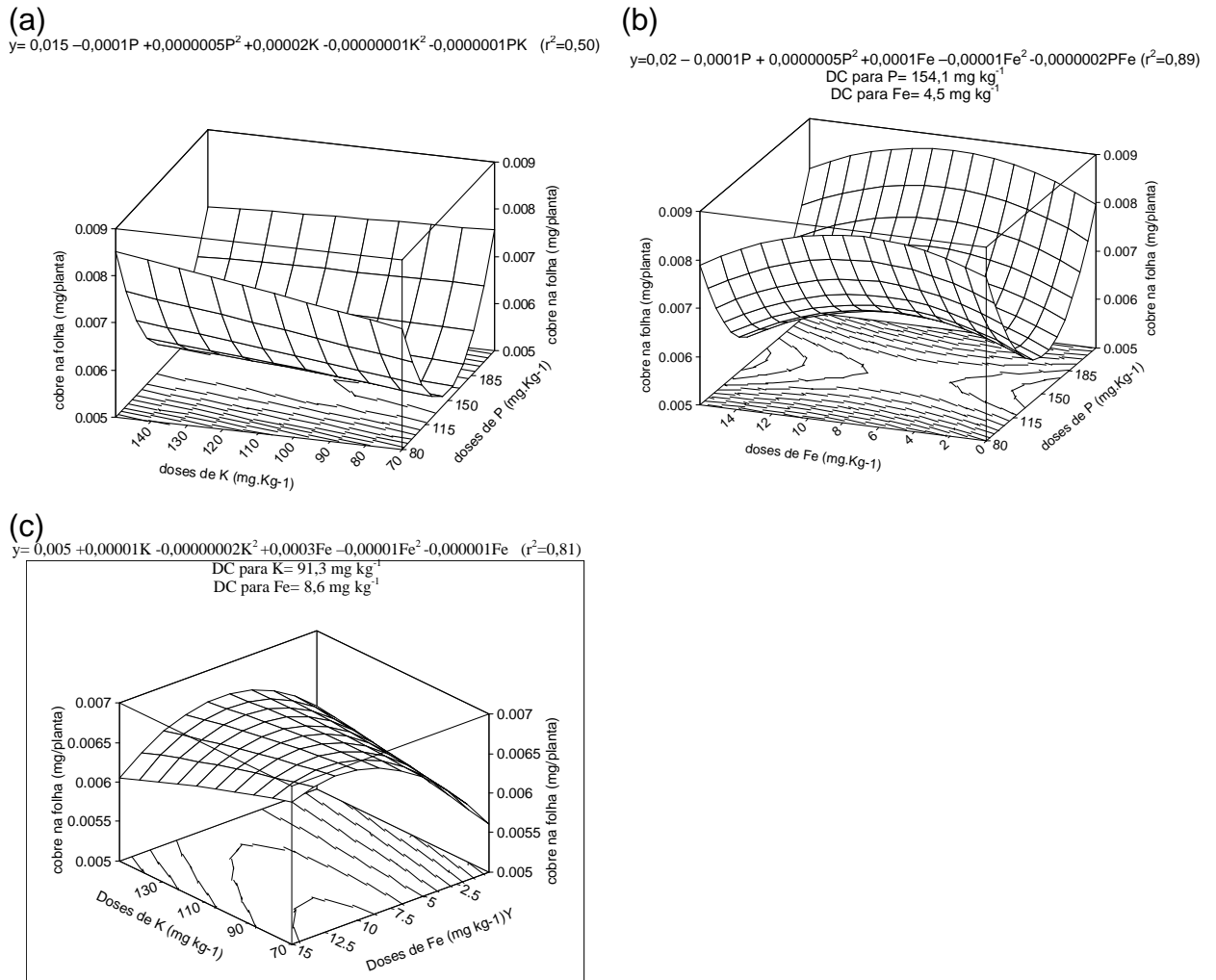


Figura 20 - Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e K e Fe (c) na quantidade total de cobre nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

As diferenças nos teores dos diferentes micronutrientes em função das doses de P, K e Fe aplicadas podem estar relacionadas com a interação entre os diferentes nutrientes em nível celular e também por variações genótípicas entre as espécies.

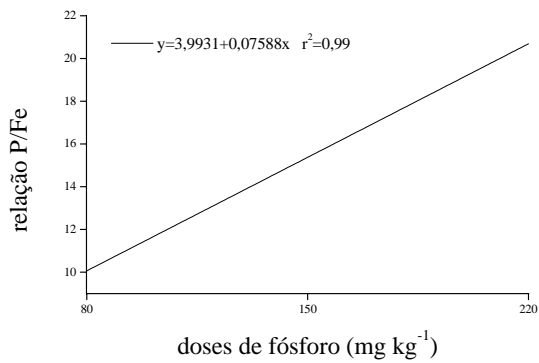
4.5 Relações entre os teores de P/ Fe, P/Zn e P/Cu

4.5.1 – Relação entre os teores de fósforo e de ferro

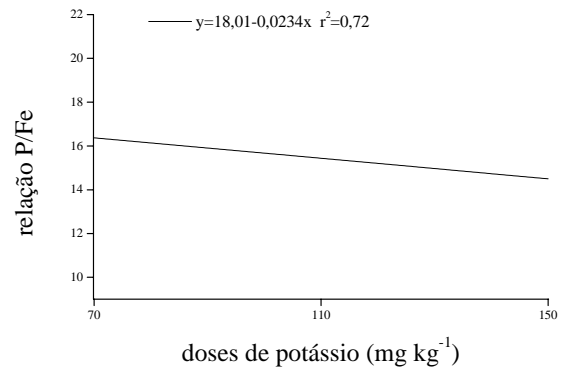
A relação entre os teores de fósforo e ferro nas folhas apresentou resposta linear positiva à adubação isolada de P (Figura 21a), sendo que este aumento foi de, aproximadamente, duas vezes. Comportamento semelhante foi encontrado por Missio (2002). Este mesmo autor comenta que os teores de P e de Fe nos tecidos aumentaram com a aplicação de P no solo, porém tal aumento não foi proporcional. O aumento da relação P/Fe indica uma indisponibilização de Fe nos tecidos, talvez causado pela sua complexação com o fosfato, interferindo no movimento e funcionamento metabólico do Fe, tornando assim as folhas cloróticas (Watanabe et al., 1965; Olsen, 1972). Tais resultados são confirmados com aqueles encontrados para a porcentagem de folhas cloróticas (Figuras 13 e 14) e formação do porfobilinogênio (Figura 15).

Por outro lado, a relação de P/Fe diminuiu com a adubação potássica (Figura 21b) e férrica (Figura 21c), na ordem de 1,1 e 1,2 vezes para K e Fe, respectivamente. Esses resultados podem indicar que as adubações de K e Fe foram importantes no balanceamento da nutrição da planta em relação ao Fe, pois diminuíram a relação do teor entre P e Fe, enquanto que a adubação isolada de P foi prejudicial, porém não a nível suficiente para reduzir a clorose típica de deficiência de ferro nas folhas de grápia.

(a)



(b)



(c)

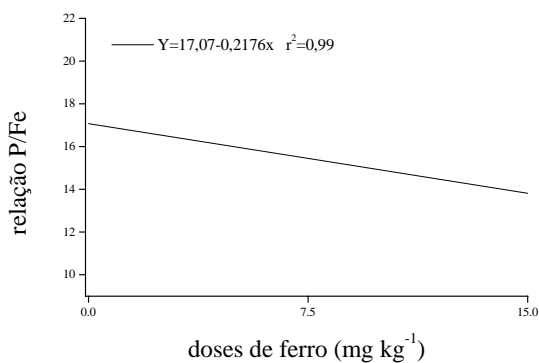


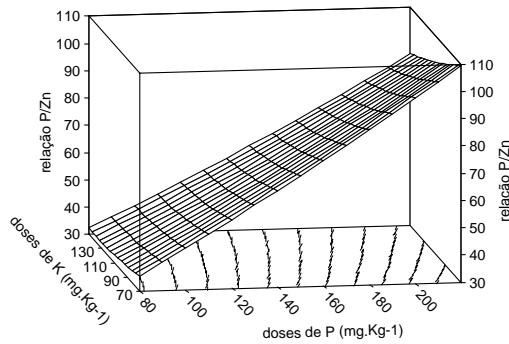
Figura 21 - Efeito da adubação de fósforo (a), potássio (b) e ferro (c) na relação entre os teores de P e Fe nas folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA.

4.5.2 – Relação entre os teores de fósforo e de zinco

Houve efeito da adubação conjunta de P e K (Figura 22a), bem como, daquela de P e Fe (Figura 22b) na relação entre os teores de P e Zn na folha. A relação aumentou, cerca de três vezes, com o acréscimo da adubação fosfatada. Porém as adubações com K e Fe proporcionaram um decréscimo de 1,1 e 1,4 vezes, respectivamente. O aumento da relação em função da adubação fosfatada pode causar sintomas de deficiência de zinco induzida pelas altas doses do P em grápia, ainda que os teores encontrados nos tecidos se encontrem em quantidades adequadas, assim como observado para Fe. A causa para essa interferência de P tem sido atribuída às mudanças na absorção, translocação ou utilização do Zn em nível celular (Olsen, 1972).

(a)

$$y = 3,4 + 0,49P + 0,0004P^2 - 0,09K + 0,0006K^2 - 0,001PK \quad (r^2=0,99)$$



(b)

$$y = 2,9 + 0,43P + 0,0004P^2 - 0,72Fe + 0,05Fe^2 - 0,009PFe \quad (r^2=0,99)$$

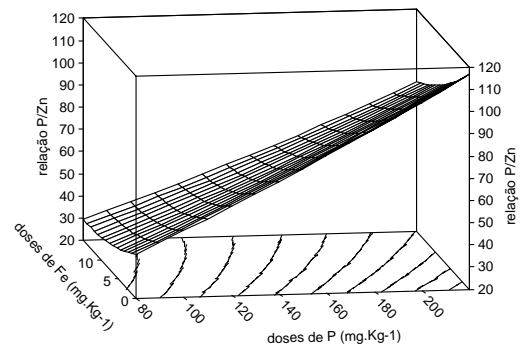
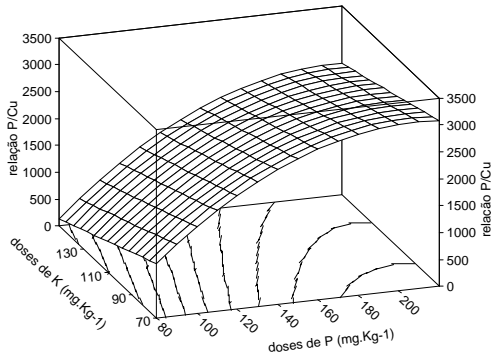


Figura 22 - Efeito da adubação conjunta de fósforo e potássio (a) e de fósforo e ferro (b) na relação entre os teores de fósforo e zinco em folhas de plantas jovens de grábia, aos 180 DAA

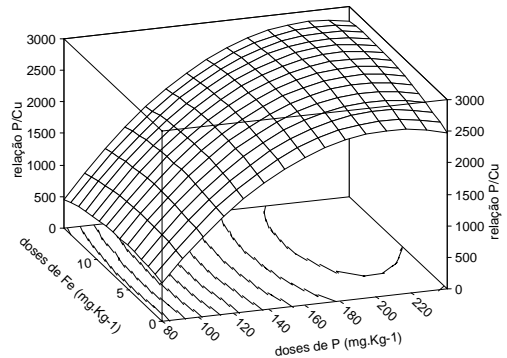
4.5.3 – Relação entre os teores de fósforo e de cobre

Semelhante ao observado para teor e quantidade total de Cu nas folhas de grábia, a relação entre os teores de P e Cu também respondeu a adubação conjunta de P, K e Fe (Figura 23). A adubação fosfatada, em conjunto com as adubações de K e Fe aumentou em 4,8 vezes esta relação (Figuras 23a e 23b). Já a adubação potássica diminuiu essa relação em, aproximadamente, 1,5 vezes (Figuras 23a e 23c). A fertilização férrica, entretanto, parece ter tido pouca influência no balanço entre P e Cu quando junto com P e K (Figuras 23b e 23c).

(a)
 $y = -1450,7 + 50,97P - 0,12P^2 - 13,5K + 0,004K^2 + 0,021PK \quad (r^2=0,76)$



(b)
 $y = -2728,4 + 51,63P - 0,12P^2 + 12,83Fe - 2,48Fe^2 + 0,19PFe \quad (r^2=0,99)$
 DMET para P= 214,7 mg kg⁻¹
 DMET para Fe= 10,6 mg kg⁻¹



(c)
 $y = 2680,6 - 7,43K - 0,003K^2 + 51,2Fe - 2,21Fe^2 - 0,147KFe \quad (r^2=0,79)$

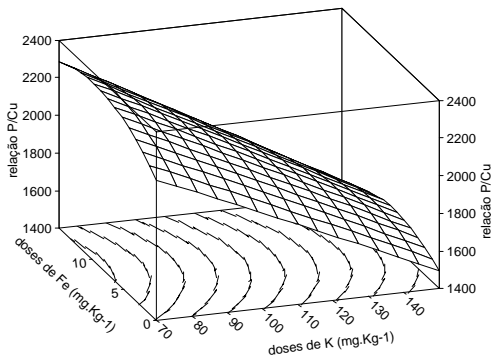


Figura 23 - Efeito da adubação conjunta de P e K (a), P e Fe (b) e K e Fe (c) na relação entre os teores de fósforo e cobre em folhas de plantas jovens de grápia, aos 180 DAA

Tais resultados podem evidenciar uma indisponibilização de Fe, Zn e Cu, causando deficiência desses nutrientes, a nível celular, mesmo que os teores desses micronutrientes se encontrem em níveis considerados adequados dentro da planta.

5 CONCLUSÕES

A alta disponibilidade de fósforo induziu o aparecimento de sintomas visuais de deficiência de ferro nas folhas.

As relações entre os teores de P/Fe, P/Zn e P/Cu nas folhas aumentaram com a adubação fosfatada, enquanto as adubações de K e Fe diminuíram tais relações.

O aumento da disponibilidade de potássio no solo não foi suficiente para sanar o desbalanço nutricional causado pela adubação fosfatada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H. Eficiência da absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 22, p. 21-26, 1998.
- BALIEIRO, F.C.; OLIVEIRA, I.G.; DIAS, L.E. Formação de mudas de *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*: Resposta a calagem, fósforo, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v. 25, p. 183-191, 2001.
- BARAK, P.; CHEN, Y. The effect of potassium on iron chlorosis in calcareous soils. **Journal of Plant Physiology**, v. 7, p. 125-133, 1984.
- BARBOSA, Z.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R. Fósforo e zinco na nutrição e crescimento da aroeira-do-sertão. I. Características de crescimento das plantas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 21, p. 196-204, 1997.
- BARBOSA, N.V.B.; ROCHA, J.B.T.; ZENI, G.; EMANUELLI, T.; BEQUE, M.C.; BRAGA A.L. Effect of organic forms of selenium on δ -aminolevulinatase from liver, kidney and brain of adults rats. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 149, p. 243-253, 1998.
- BEVAN, D.R.; BODLAENDER, P.; SHEMIN, D. Mechanism of porphobilinogen synthase. Requirement of Zn^{2+} for enzyme activity. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 255, p. 2030-2035, 1980.
- BOLLE-JONES, E.W. The interrelationships of iron and potassium in the potato plant. **Plant and Soil**, v. 5, p. 87-100, 1955.
- BORKET, V. M.; PAVAN, M. A. & BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.V.; ABREU, C.A. (Eds.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. p.151-185.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1989. 898p.
- BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; VENTORIM, N.; AUBERT, E.; LOPES, G.A. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. **Revista Árvore**, v. 19, p. 18-31, 1995.
- BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura – Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária – Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431p. Boletim Técnico, 30.
- BRECKLE, S. W.; KAHLE, H. Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.). **Vegetatio**, v. 101, p. 45-53, 1992.

BROWN, J.C. Mechanism of iron uptake by plants. **Plant Cell Environment**, v.1, p. 249-257, 1978.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ/EIT, 2003, p. 467-476.

CECONI, D.E.; SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 2003. 1 CD-ROM.

CECONI, D.E.; BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; POLETTO, I.; KÖNIG, F.G.; KLEINPAUL, I.S.; LIMA, L. Influência da fertilização com diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de cabriúva (*Myrocarpus frondosus* Alemão). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2004. p. 262-268.

CHAPMAN, H.D.; BROWN, S.M.; RAYNER, D.S. Effects of potash deficiency and excess on orange trees. **Hilgardia**, v. 17, p. 619-650, 1947.

CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/Sociedade Brasileiro de Ciência do Solo, 1985, p. 45-75.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

COUTO, C.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; NEVES, J.C.L. Resposta do eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos do cerrado. **Revista Árvore**, v. 9, p. 134-148, 1985.

DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; ALOVISI, A.A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A.M.; PINHEIRO, E.R.; SOUZA, E.F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, v. 21, p. 163-168, 1997.

DUBOC, E. **Requerimentos nutricionais de espécies nativas: *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Haynee) Lee et Lang (Jatobá), *Copaifera langsdorffii* Desf. (Óleo copaíba) e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. (Canafístula)**. 1994. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Lavras:1994

EMANUELLI, T.; ROCHA, J.B.T.; PEREIRA, M.E. PORCIUNCULA, L.O.; MORSH, V.M.; MARTINS, A.F.; SOUZA, D.O.G. Effect os mercuric chloride intoxication and dimercaprol treatment on delta-aminolevulinate dehydratase from brain, liver and kidney of adult mice. **Pharmacol. and Toxicology**, v. 79, p. 136-143, 1996.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Ed. USP, 1975, 344p.

FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R.; CURI, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. I. *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. **Revista Árvore**, v. 19, p. 293-307, 1995.

FARINA, M. **A interação de espécies orgânicas de selênio com peróxido de hidrogênio: Um possível papel toxicológico na enzima delta aminolevulinato desidratase**. 2000. 114f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Toxicológica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; FONSECA, F.C.; VALE, F.R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1191-1198, 2000.

FOGAÇA, M. A. F. **Nutrição mineral da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride): resposta à fertilização NPK em solo Podzólico Vermelho amarelo**. 1999. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba; IPEF, cap. 12, p. 351-383, 2000.

GONÇALVES, J.L.M.; VALERI, S.V. Eucalipto e Pínus. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.V.; ABREU, C.A. (Eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. cap. 16, p. 393-423.

GONÇALVES, J.L. de M.; KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS, V.M.; GONÇALVES, J.C.; GERES, W.L. de A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1990. **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p. 463-468.

GONZÁLES-VALLEJO, E.B.; MORALES, F.; CISTUÉ, L. ABADÍA, A.; ABADÍA, J. Iron deficiency decreases the Fe(III)-chelate reducing activity of leaf protoplasts. **Plant Physiology**, v. 122, p. 337-344, 2000.

GRAZIANO, M.; BELIGNI, M.V.; LAMATTINA, L. Nitric oxide improves internal iron availability in plants. **Plant Physiology**, v. 130, p. 1852-1859, 2002.

GUERINOT, M.L.; YI, Y. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, v. 104, p. 815-820, 1994.

GUIMARÃES, H.S. **Variabilidade genética para eficiência nutricional em progênies de *Eucalyptus camadulensis* e *Eucalyptus citriodora***. 1993. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

- HOFFMANN, B.; PLÄNKER, R.; MENGEL, K. Measurements of pH in the apoplast of sunflower leaves by means of fluorescence. **Physiologia Plantarum**, v. 84, p. 146-153, 1992.
- HUANG, C.; BARKER, S.J.; LANGRIDGE, P.; SMITH, F.W.; GRAHAM, R.D. Zinc deficiency up-regulates expression of high-affinity phosphate transporter genes in both phosphate-sufficient and -deficient barley roots. **Plant Physiology**, v. 124, p. 415-422, 2000.
- HUGHES, D. F.; JOLLEY, V. D.; BROWN, J. C. Role of potassium in the iron-stress response mechanism of iron-efficient oat. **Soil and Science**, v. 56, n.1, p. 830-835, 1992.
- JAFFE, E.K.; SHAFINAZ, A.; MITCHELL, I.A.; TAYLOR, K.M.; VOLIN, M.; MARKHAM, G.D. Characterization of the role of the stimulatory magnesium of *Escherichia coli* porphobilinogen synthase. **Biochemistry**, v. 34, p. 244-251, 1995.
- JAFFE, E.K. Porphobilinogen synthase, the first source of heme's asymmetry. **Journal of Bioenergetics Biomembranes**, v. 27, p. 169-179, 1995.
- JAFFE, E.K.; KERVINEN, J.; DUNBRACK, Jr.; LITWIN, S.; MARTINS, J.; SCARROW, R.C.; VOLIN, M.; YEUNG, A.T.; YONN, E. Porphobilinogen synthase from pea: Expression from an artificial gene, kinetic characterization, and novel implications for subunit interactions. **Biochemistry**, v. 39, p. 9018-9029, 2000.
- JOLLEY, V.D.; BROWN, J.C.; BLAYLOCK, M.J.; CAMP, S.D. A role for potassium in the use of iron by plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 11, p. 1159-1175, 1988.
- JUNGK, A.; SEELING, B.; GERKE, J. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. **Plant and Soil**, v.155/56, p. 91-94, 1993.
- KOSEGARTEN, H.U.; WILSON, G.H.; ESCH, A. The effect of nitrate nutrition in iron chlorosis and leaf growth in sunflower (*Helianthus annuus*). **European Journal of Agronomy**, v. 8, p. 283-292, 1998.
- KOSEGARTEN, H.U.; HOFFMANN, B.; MENGEL, K. Apoplastic pH Fe^{3+} reduction in intact sunflower leaves. **Plant Physiology**, v. 121, p. 1069-1079, 1999.
- KRAMER, D.; ROMHELD, V.; LANDSBERG, E.C.; MARSCHNER, H. Induction of transfer-cell formation by iron deficiency in the epidermis of *Helianthus annuus* L. **Planta**, v.147, p.335-339, 1980.
- LANDSBERG, E.C. Transfer cell formation in the root epidermis: a prerequisite for iron-efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v.5, p. 415-432, 1982.
- LIU, C.; MUCHHAL, M.S.; UTHAPPA, M.; KONONOWICZ, A.K.; RAGHOTHAMA, K.G. Tomato phosphate transporter genes are differentially regulated in plant tissues by phosphorus. **Plant Physiology**, v. 116, p. 91-99, 1998.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.
- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas-leguminosas**. Ed. UFSM, Santa Maria, 1997. p. 87-88.
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. Strategies of plants for acquisition of iron. **Plant and Soil**, v. 165, p. 261-274, 1994.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London. Ed. Academic Press, 1995. 890p.
- MARTINEZ, H.E.P.; HAAG, H.P; MORAES, M.L.T. Micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet. III. Níveis internos de Fe, Mn e Zn sob suficiência e sob omissão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 1339-1353, 1992.
- MATTOS, N.F.; GUARANHA, J. **Contribuição ao estudo da Grápia – *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbride**. CORAG, Porto Alegre, Publicação IPRNR, N.12, 1983.
- MENGEL, K.; KIRBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 3 ed. Switzerland. Ed International Potash Institute Bern, 1982. 655p.
- MENGEL, K.; GEURTZEN, G. Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays*, **Physiologia Plantarum**, v. 72, p. 460-465, 1988.
- MENGEL, K. Iron availability in plant tissues: iron chlorosis on calcareous soils. In: ABADÍA, J. (Ed). **Iron Nutrition in Soils and Plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, p. 389-396.
- MISSIO, E.L. **Nutrição mineral da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) com fósforo, enxofre e ferro num Argissolo Vermelho Distrófico arênico**. 2002. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- MISSIO, E.L.; NICOLOSO, F.T.; JUCOSKI, G. O.; SARTORI, L. Exigências nutricionais da grápia ao fósforo e enxofre em Argissolo Vermelho Distrófico arênico: Efeito da adubação no crescimento. **Ciência Rural**. v. 34, p. 1051-1057, 2004.
- MUCHHAL, U.S.; RAGHOTHAMA, K.G. Transcriptional regulation of plant phosphate transporters. **Proc Natl Acad Science**, v. 96, p. 5868-5872, 1999.
- MUKATIRA, U.; LIU, C.; VARADARAJAN, D.K.; RAGHOTHAMA, K.G. Negative regulation of phosphate starvation induced genes. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1854-1862, 2001.
- MURPHY, J. RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NAITO, K.; EBATO, T.; ENDO, Y.; SHIMIZU, S. Effect of benzyladenine on δ -aminolevulinic acid synthetic ability and δ -aminolevulinic acid dehydratase: differential responses to benzyladenine according to leaf age. **Pflanzenphysiologie**, v. 96, p. 95-102, 1980.

NICOLOSO, F.T.; GARLET, A.; ZANCHETTI, F. *et al.* Efeito de métodos de escarificação na superação da dormência de sementes e dois substratos na germinação e no desenvolvimento da grápia (*Apuleia leiocarpa*). **Ciência Rural**, v. 27, p. 419-424, 1997.

NICOLOSO, F.T.; ZANCHETTI, F.; GARLET, A.; FOGAÇA, M.A.F. Exigências nutricionais da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em solo Podzólico Vermelho amarelo. **Ciência Rural**, v. 29, p. 225-231, 1999.

NICOLOSO, F.T.; FOGAÇA, M.A. de F.; ZANCHETTI, F.; MISSIO E. Nutrição mineral de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) em Argissolo Vermelho distrôfico arênico: (I) Efeito da adubação NPK no crescimento. **Ciência Rural**, v. 31, p. 991-998, 2001.

OLIVEIRA, J.M.F.; SILVA, A.J.; SCHWENGBER, D.R. Resposta de mudas de Angelim-pedra a nitrogênio e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1503-1507, 1998.

OLSEN, S.R. Micronutrient interations. In: MORTVEDT, J.J; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. cap. 11, p. 243-264.

PAULA, R.C.; PAULA, N.F.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; TOLFO, A.L.T. Controle genético da eficiência de utilização de fósforo em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação. **Revista Árvore**, v. 27, p. 25-34, 2003.

PEREIRA, L.B. **Efeito do alumínio na atividade da enzima delta-aminolevulinato desidratase (ALA-D, E.C.4.2.1.24) e no desenvolvimento de *Cucumis sativus***. 2004. 73f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Toxicológica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T; VANCE, G.F. **Soils and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994, cap. 5, p. 103-141.

PROE, M.F.; MILLARD, P. Effect of P supply upon seasonal growth and internal cycling of P in sitka spruce seedlings. **Plant and Soil**, v. 168, p. 313-317, 1995.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 665-693, 1999.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Ed. Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.

REITZ, R., KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**.: CORAG, Porto Alegre , 1988. p 297-301.

- RENÓ, N.B.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 17-25, 1997.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2071-2081, 1999.
- RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000, 210f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1053-1059, 2003.
- RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil. Manual de dendrologia brasileira**. Universidade Federal de São Paulo, SP, 1971. 294p.
- ROCHA, J.B.T.; PEREIRA, M.E.; EMANUELLI, T.; CHRISTOFARI, R.S.; SOUZA, D.O. Effects of methylmercury exposure during the second stage of rapid postnatal brain growth on delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) activity in brain, liver, kidney and blood of suckling rats. **Toxicology**, v. 100, p. 27-37, 1995.
- RODRIGUES, AL.; BELLINASSO, M.L.; DICK, T. Effect of some metal ions on blood and liver delta-aminolevulinic dehydratase of *Pimelodus malacatus* (pisces, Pimelodidae). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 94B, p. 65-69, 1989.
- ROMBOLÀ, A.D.; BRÜGGEMANN, W.; LÓPEZ-MILLÁN, A.F.; TAGLIAVINI, M.; ABADÍA, J.; MARANGONI, B.; MOOG, P.R. Biochemical responses to iron deficiency in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Tree Physiology**, v. 22, p. 869-875, 2002.
- RÖMHLED, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos de plantas superiores. In: **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. p.71-85.
- RÖMHLED, V.; MARSCHNER, H.; Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. **Advance Plant Nutrition**, v. 2, p. 155-204, 1986.
- RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 1015-1018, 1999.
- SANYAL, S.K; DATTA, S.K. Chemistry phosphorus transformation in soil. In: STEWART, B.A. (ed). **Advance in Soil Science**, v.16, p. 1-120, 1991.
- SASSA, S. δ -Aminolevulinic acid dehydratase assay. **Enzyme**, v.28, p.133-145, 1982.

SCHMIDT, W. Iron Homeostasis in Plants: Sensing and Signaling Pathways. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, p. 2211-2230, 2003a.

SCHMIDT, W. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Trends in Plant Science**, v. 8, n. 4, p. 188-193, 2003 b.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, v. 28, p. 149-155, 2004.

SHIBATA, H.; OCHIAI, H. Purification and properties of δ -aminolevulinic acid dehydratase from radish cotyledons. **Plant and Cell Physiology**, v. 18, p. 421-429, 1976.

SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; VALE, F.R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 205-212, 1997.

SOARES, C.R.F.S.; GRAZZIOTTI, P.H.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, F.M.S. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 339-348, 2001.

STOBART, A.K.; GRIFITHS, W.T.; BUKHARI, I.A.; SHERWOOD, R.P. The effect of aluminum on the biosynthesis of chlorophyll on leaves of barley. **Plant Physiology**, v. 63, p. 223-228, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap.5, p. 95-113.

TAMAI, H.; SHIOI, Y.; SASA, T. Purification and characterization al delta-aminolevulinic acid dehydratase from *Chlorella regularis*. **Plant and Cell Physiology**, v. 20, p. 435-444, 1979.

TEDESCO, M.S.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995, 174p., Boletim Técnico, nº 5.

TEDESCO, N. **Produção de mudas de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) adubadas com N-P-K**. 1999. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

THOIRON, S.; PASCAL, N.; BRIAT, J-F. Impact of iron deficiency and iron re-supply during the early stages of vegetative development in maize (*Zea mays* L.). **Plant Cell Environment**, v. 20, p. 1051-1060, 1997.

TISDALE, S.L. NELSON, W.L, BEATON, J.D, HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed., New York: Macmillan, 1993. 634p.

TOULON, V.; SENTENAC, H. THIBAUD, J-B.; DAVIDIAN, J-C.; MOULINEAU, C.; GRIGNON, C. Role of apoplast acidification by the H⁺ pump: effect on the sensitivity to pH and CO₂ of iron reduction by roots of *Brassica napus* L. **Planta**, v. 186, p. 212-218, 1992.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B. de; CORRADINE, L.; SOUZA, E.C.A. de; BANZATO, D.A. Efeito de fósforo e cálcio no desenvolvimento e na composição química foliar de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em casa de vegetação. **IPEF**, n. 29, p. 47-53, 1985.

VANSUYT, G.; SOUCHE, G.; STRACZEK, A.; BRIAT, J.F.; JAILLARD, B. Flux of protons released by wild type and ferritin over-expressor tobacco plants: effect of phosphorus and iron nutrition. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.41, p. 27-33, 2003.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 441-448, 1999.

VOLPATO, M.M.L.; VENTURIN, N. ALVES, R.N.B.; CAPRARA, A.C.; BERNARDO, A.L.; SANTANA, D.G. Efeito de níveis crescentes do fósforo e zinco no desenvolvimento de porta-enxerto de seringueira (*Hevea* spp.). **Revista Árvore**, v.18, p. 14-21, 1994.

WANG, Y-H.; GARVIN, D.F.; KOCHIAN, L.V. Nitrate-induced genes in tomato roots. Array analysis reveals novel genes that may play a role in nitrogen nutrition. **Plant Physiology**, v. 127, p. 345-359, 2001.

WANG, Y-H.; GARVIN, D.F.; KOCHIAN, L.V. Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. **Plant Physiology**, v. 130, p. 1361-1370, 2002.

WATANABE, F.S.; LINSAY, W.L.; OLSEN, S.R. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. **Soil Science Society Proceedings**, v. 29, p. 562-565, 1965.

ANEXOS

Tabela 1 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do número de folhas⁽¹⁾ de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada em todas as épocas analisadas.

CV	gl	Quadrado médio do número de folhas de grápia					
		30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA	150 DAA	180 DAA
P	2	0,4750*	2,0593*	3,4490*	2,1556*	0,8941*	0,4703*
K	2	0,0365*	0,0412 ^{ns}	0,0186 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	0,0145 ^{ns}
Fe	2	0,0122 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	0,0381 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	0,0188 ^{ns}	0,0346 ^{ns}
P*K	4	0,0306*	0,0777*	0,1349*	0,0892 ^{ns}	0,0612 ^{ns}	0,0333 ^{ns}
P*Fe	4	0,0141 ^{ns}	0,0112 ^{ns}	0,0268 ^{ns}	0,0544 ^{ns}	0,0506 ^{ns}	0,0424 ^{ns}
K*Fe	4	0,0117 ^{ns}	0,0519 ^{ns}	0,0808 ^{ns}	0,0958 ^{ns}	0,1086 ^{ns}	0,0876 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0137 ^{ns}	0,0267 ^{ns}	0,1064 ^{ns}	0,1156*	0,1207*	0,1400*
CV%		4,16	4,97	6,35	5,54	5,76	5,87
Média geral		6,0	10,0	13,0	15,0	16,0	16,0

⁽¹⁾ Os dados reais de contagem foram transformados pela função $Y^* = \text{raiz quadrada}(y+1/2)$.

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do número de folhas caídas⁽¹⁾ de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada a partir dos 60 DAA.

CV	gl	Quadrado médio do número de folhas caídas de grápia				
		60 DAA	90 DAA	120 DAA	150 DAA	180 DAA
P	2	0,0301*	0,7401*	1,9895*	2,6523*	3,8365*
K	2	0,0031 ^{ns}	0,0382 ^{ns}	0,1464 ^{ns}	0,2748 ^{ns}	0,445 ^{ns}
Fe	2	0,0031 ^{ns}	0,1219 ^{ns}	0,7725*	0,9676*	1,0839*
P*K	4	0,0019 ^{ns}	0,0509 ^{ns}	0,1486 ^{ns}	0,1510 ^{ns}	0,2578 ^{ns}
P*Fe	4	0,0019 ^{ns}	0,1097 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0675 ^{ns}	0,0569 ^{ns}
K*Fe	4	0,0088 ^{ns}	0,0172 ^{ns}	0,0379 ^{ns}	0,0757 ^{ns}	0,0218 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0045 ^{ns}	0,1571 ^{ns}	0,1239 ^{ns}	0,1200 ^{ns}	0,1158 ^{ns}
CV%		11,36	31,95	26,82	23,83	25,59
Média geral		0,5	4,0	8,0	10,0	11,0

⁽¹⁾ Os dados reais de contagem foram transformados pela função $Y^* = \text{raiz quadrada}(y+1/2)$.

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral na porcentagem de folhas com clorose típica de deficiência de ferro⁽¹⁾ de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada até os 150 DAA.

CV	gl	Quadrado médio da porcentagem de folhas cloróticas de grápia				
		30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA	150 DAA
P	2	0,3902*	2,4074*	1,7023*	2,1713*	2,7249*
K	2	0,1126*	0,0542 ^{ns}	0,0137 ^{ns}	0,0027 ^{ns}	0,0635 ^{ns}
Fe	2	7,1067*	12,6982*	2,6391*	0,3400 ^{ns}	0,2378 ^{ns}
P*K	4	0,1236*	0,0452 ^{ns}	0,2795*	0,1780 ^{ns}	0,1080 ^{ns}
P*Fe	4	0,3811*	0,6245*	0,4208*	0,1959 ^{ns}	0,0090 ^{ns}
K*Fe	4	0,0643 ^{ns}	0,0388 ^{ns}	0,1697 ^{ns}	0,0532 ^{ns}	0,2429 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0853*	0,0878 ^{ns}	0,3169*	0,0652 ^{ns}	0,1546 ^{ns}
CV%		18,61	24,17	30,16	36,02	31,68
Média geral		8,6	1,1	3,7	4,2	6,0

(1) Os dados reais de contagem foram transformados pela função $Y^* = \text{raiz quadrada}(y+1/2)$.

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral da altura (cm) de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada em todas as épocas analisadas.

CV	gl	Quadrado médio da altura de grápia					
		30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA	150 DAA	180 DAA
P	2	175,34*	2749,19*	8186,51*	7292,94*	4852,62*	4454,68*
K	2	16,50*	56,56 ^{ns}	111,56 ^{ns}	196,87 ^{ns}	102,05 ^{ns}	81,99 ^{ns}
Fe	2	21,83*	36,96 ^{ns}	31,58 ^{ns}	1,22 ^{ns}	39,81 ^{ns}	50,10 ^{ns}
P*K	4	11,74*	63,61*	193,22*	215,43 ^{ns}	124,26 ^{ns}	96,25 ^{ns}
P*Fe	4	10,00 ^{ns}	24,35 ^{ns}	80,68 ^{ns}	116,11 ^{ns}	132,41 ^{ns}	143,69 ^{ns}
K*Fe	4	4,99 ^{ns}	33,16 ^{ns}	81,24 ^{ns}	104,36 ^{ns}	107,10 ^{ns}	92,68 ^{ns}
P*K*Fe	8	4,43 ^{ns}	18,41 ^{ns}	59,26 ^{ns}	72,85 ^{ns}	81,20 ^{ns}	77,38 ^{ns}
CV%		13,89	16,63	17,03	16,86	16,45	15,86
Média geral		15,48	30,58	47,54	57,51	61,75	62,68

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do diâmetro de caule (mm) de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada em todas as épocas analisadas.

CV	gl	Quadrado médio do diâmetro do caule de grápia					
		30 DAA	60 DAA	90 DAA	120 DAA	150 DAA	180 DAA
P	2	0,1356*	5,0530*	20,4672*	21,8405*	22,4147*	16,7163*
K	2	0,0225 ^{ns}	0,1504 ^{ns}	0,1368 ^{ns}	0,1435 ^{ns}	0,8459 ^{ns}	0,8500 ^{ns}
Fe	2	0,1167*	0,0226 ^{ns}	0,0168 ^{ns}	0,0260 ^{ns}	0,0366 ^s	0,0587 ^{ns}
P*K	4	0,0429 ^{ns}	0,2003 ^{ns}	0,6340*	0,6119 ^{ns}	0,4576 ^{ns}	0,2709 ^{ns}
P*Fe	4	0,0475 ^{ns}	0,0884 ^{ns}	0,1318 ^{ns}	0,4228 ^{ns}	0,6944 ^{ns}	0,8803 ^{ns}
K*Fe	4	0,0171 ^{ns}	0,1075 ^{ns}	0,4015 ^{ns}	0,7691*	0,9508*	0,7500 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0195 ^{ns}	0,1504 ^{ns}	0,3727 ^{ns}	0,5300 ^{ns}	0,5099 ^{ns}	0,5946 ^{ns}
CV%		10,28	12,39	12,91	12,17	12,92	12,49
Média geral		1,52	2,49	3,48	4,27	4,80	5,08

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 6 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral da matéria seca da folha (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSPA, da raiz (MSR) e do total (MST) e da relação entre a matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea (MSR/MSPA) de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio da matéria seca produzida					
		MSF	MSC	MSPA	MSR	MST	MSR/MSPA
P	2	18,1086*	36,6864*	106,302*	15,265*	201,563*	0,0329*
K	2	1,657 ^{ns}	2,0716 ^{ns}	7,1750 ^{ns}	1,4704 ^{ns}	14,9954 ^{ns}	0,0072 ^{ns}
Fe	2	0,0413 ^{ns}	0,0559 ^{ns}	0,1490 ^{ns}	4,7141*	6,5385 ^{ns}	0,0655*
P*K	4	0,5406 ^{ns}	0,7791 ^{ns}	2,2795 ^{ns}	1,7526 ^{ns}	5,9533 ^{ns}	0,0380*
P*Fe	4	1,1398 ^{ns}	2,2969 ^{ns}	5,8845 ^{ns}	0,5016 ^{ns}	9,0153 ^{ns}	0,0195 ^{ns}
K*Fe	4	1,4104 ^{ns}	1,6817 ^{ns}	6,0355 ^{ns}	2,1518*	15,0533*	0,0047 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,8650 ^{ns}	1,2684 ^{ns}	3,8769 ^{ns}	1,8134*	10,3405 ^{ns}	0,0129 ^{ns}
CV%		22,1	30,62	24,79	29,33	24,77	20,35
Média geral		3,55	3,25	6,80	3,14	9,94	0,47

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 7 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do teor (%) de P, K Ca e Mg encontrados nas folhas de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio do teor dos nutrientes na folha			
		P (%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
P	2	1,6146*	0,6547*	1,0392*	0,0186*
K	2	0,0181*	1,6175*	0,1574*	0,0455*
Fe	2	0,0077 ^{ns}	0,0151 ^{ns}	0,0942 ^{ns}	0,0065 ^{ns}
P*K	4	0,0061 ^{ns}	0,1501*	0,3476*	0,0044 ^{ns}
P*Fe	4	0,0052 ^{ns}	0,0887 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	0,0013 ^{ns}
K*Fe	4	0,0043 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,1353*	0,0041 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0019 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,1325*	0,0032 ^{ns}
CV%		20,32	14,06	13,51	11,53
Média geral		0,32	1,37	1,62	0,50

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 8 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral da quantidade total (mg kg⁻¹) de P, K Ca e Mg encontrados nas folhas de plantas jovens de grápia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio da quantidade total dos nutrientes na folha			
		P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
P	2	3425,68*	5550,02*	1175,67*	666,36*
K	2	71,51*	1299,94*	1021,90*	178,55*
Fe	2	7,08 ^{ns}	10,72 ^{ns}	46,73 ^{ns}	7,28 ^{ns}
P*K	4	11,67 ^{ns}	93,77 ^{ns}	780,44*	15,43 ^{ns}
P*Fe	4	11,49 ^{ns}	313,21*	313,52 ^{ns}	34,98 ^{ns}
K*Fe	4	19,38 ^{ns}	198,88 ^{ns}	340,49 ^{ns}	38,30 ^{ns}
P*K*Fe	8	20,37 ^{ns}	172,78 ^{ns}	490,49 ^{ns}	23,31 ^{ns}
CV%		28,87	20,33	29,03	26,43
Média geral		11,86	48,13	57,30	17,86

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 9: Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do teor (mg kg⁻¹) de Fe, Cu e Zn encontrados nas folhas de plantas jovens de grábia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio do teor de micronutrientes nas folhas		
		Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
P	2	109505,82*	23,7349*	376,02*
K	2	2586,51 ^{ns}	3,1323*	30,40 ^{ns}
Fe	2	26897,66*	0,8125*	2508,11*
P*K	4	311,71 ^{ns}	5,2669*	123,35*
P*Fe	4	1179,43 ^{ns}	0,8328*	5,31 ^{ns}
K*Fe	4	317,01 ^{ns}	0,5934 ^{ns}	29,79 ^{ns}
P*K*Fe	8	711,03 ^{ns}	2,2514*	65,67 ^{ns}
CV%		16,41	23,93	12,17
Média geral		198,95	2,13	45,85

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 10 - Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral do teor (mg kg⁻¹) de Fe, Cu e Zn encontrados nas folhas de plantas jovens de grábia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio da quantidade total de micronutrientes nas folhas		
		Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
P	2	4,1398*	0,000099*	0,0769*
K	2	0,0267 ^{ns}	0,000006 ^{ns}	0,0025 ^{ns}
Fe	2	0,3232*	0,000009 ^{ns}	0,0300*
P*K	4	0,0154 ^{ns}	0,000062*	0,0047 ^{ns}
P*Fe	4	0,0964 ^{ns}	0,000009 ^{ns}	0,0050 ^{ns}
K*Fe	4	0,0625 ^{ns}	0,000005 ^{ns}	0,0048 ^{ns}
P*K*Fe	8	0,0438 ^{ns}	0,000028*	0,0031 ^{ns}
CV%		29,35	36,43	26,93
Média geral		0,72	0,0074	0,17

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11: Valores de quadrado médio, coeficiente de variação (cv%) e média geral das relações entre os teores de P/Fe, P/Zn e P/Cu encontrados nas folhas de plantas jovens de grábia obtidos pela análise de variância realizada aos 180 DAA.

CV	gl	Quadrado médio das relações entre teores		
		P/Fe	P/Zn	P/Cu
P	2	1486,92*	59789,76*	68725421,1*
K	2	65,15*	1337,12*	7583747,8*
Fe	2	139,06*	5381,29*	381289,0 ^{ns}
P*K	4	13,42 ^{ns}	753,17*	12664002,8*
P*Fe	4	17,75 ^{ns}	758,40*	819446,1 ^{ns}
K*Fe	4	11,08 ^{ns}	442,04 ^{ns}	808082,9 ^{ns}
P*K*Fe	8	4,33 ^{ns}	250,37 ^{ns}	1303539,7*
CV%		19,69	25,03	1889,30
Média geral		15,44	67,11	33,61

* significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativos em nível de 5% de probabilidade de erro.