

SEBASTIÃO MARCOS DE MENDONÇA

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE CAFÉ À CALAGEM EM SOLO COM ALTO
TEOR DE ALUMÍNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2002

SEBASTIÃO MARCOS DE MENDONÇA

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE CAFÉ À CALAGEM EM SOLO COM ALTO
TEOR DE ALUMÍNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 29 de maio de 2002

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães
(Conselheiro)

Dr. Antonio de Pádua Alvarenga

Dr. Antonio Alves Pereira

Prof^ª. Hermínia Emília Prieto Martinez
(Orientadora)

A Deus, pela onipotência.

Aos meus pais Osvaldo Pires de Mendonça e Ana Maria de Melo
Mendonça pelo amor, pelos ensinamentos e pelos braços sempre
estendidos em todos os momentos de minha vida.

À minha amada Patrícia Dolabela pelo ombro amigo,
apoio e incentivo sempre presente.

Aos meus irmãos pelo grande apoio e estímulo.

Àqueles que acreditaram, confiaram e principalmente me
ajudaram a caminhar e chegar até aqui.

A todos estes, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante a pós-graduação.

À professora Hermínia Emília Prieto Martinez, pela confiança, pela paciência, pela amizade, pelo apoio e ensinamentos imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao pesquisador da EPAMIG Paulo Tácito Gontijo Guimarães pelo exemplo de profissionalismo, amizade e por ceder a área para a execução do projeto.

Ao professor Júlio César Lima Neves pela atenção, avaliação crítica do trabalho e pelas sugestões apresentadas.

Ao técnico agrícola da EPAMIG Gilmar José Cereda pelas ajuda nas avaliações do experimento e pela amizade proferida.

Ao pesquisador da EPAMIG Antônio de Pádua Alvarenga pela ajuda na montagem do experimento.

A todos os funcionários dos Departamentos de Fitotecnia e Solos, em especial à Mara, Domingos Sávio e Itamar, cujos serviços e amizades foram indispensáveis para a execução dos trabalhos.

Às amizades duradouras conquistadas em Viçosa, que certamente continuarão sendo cultivadas, e jamais esquecidas.

Aos amigos que participaram direta ou indiretamente na execução do projeto, bem como aqueles que mesmo longe contribuíram não somente para minha formação, mas também para a vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SEBASTIÃO MARCOS DE MENDONÇA, filho de Osvaldo Pires de Mendonça e Ana Maria de Melo Mendonça, nasceu em Lagoa Dourada, Estado de Minas Gerais, em 05 de fevereiro de 1974.

Em agosto de 1999, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1999, iniciou o curso de mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. Preparo das Mudas.....	9
3.2. Local.....	10
3.3. Preparo do terreno e condução do experimento.....	10
3.4. Análise química do solo.....	11
3.5. Avaliação do crescimento e os teores de nutrientes nas plantas.....	12
3.6. Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular.....	13
3.7. Análise estatística.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1. Características vegetativas dos cafeeiros avaliados aos 13 e 23 meses após o plantio.....	15
4.2. Concentração de nutrientes nos tecidos aos 15 e 34 meses após o plantio das mudas.....	22
4.2.1 Fósforo	22
4.2.2. Ca, Mg e K.....	24
4.2.3. Mg, Cu e Zn	28
4.3 Avaliação do sistema radicular aos 17 meses após o transplântio	37

4.3.1	Produção de matéria fresca de raiz e sua distribuição percentual nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.....	37
4.3.2	Comprimento radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm.....	37
4.3.3.	Superfície radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm	41
4.3.4.	Comprimento radicular específico e superfície radicular específica.....	41
4.4.	Avaliação do sistema radicular aos 34 meses após o transplântio.....	42
4.4.1.	Produção de matéria fresca de raiz e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm.....	42
4.4.2.	Comprimento radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm.....	45
4.4.3.	Superfície radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm.....	48
4.4.4.	Comprimento radicular específico e superfície radicular específica.....	52
4.5.	Influência da calagem nas características químicas do solo.....	55
4.5.1.	Valores de pH no perfil do solo.....	55
4.5.2.	Teores de cálcio, magnésio no perfil do solo.....	56
4.5.3.	Alumínio trocável e saturação por alumínio no perfil do solo.....	61
4.5.4.	Saturação por bases.....	62
5.	RESUMO E CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	APÊNDICE	75

RESUMO

MENDONÇA, Sebastião Marcos de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2002. **Resposta de cultivares de café à calagem em solo com alto teor de alumínio.** Orientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez. Conselheiros: Júlio César Lima Neves, Paulo Tácito Gontijo Guimarães e Cosme Damião Cruz.

Foram avaliados, em condições de campo, o desenvolvimento das variedades previamente classificadas como sensível, Catimor (232T15-PN), medianamente tolerantes, Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15 e tolerante ao Al, Icatu (IAC 4045), submetidas a quatro níveis de calagem 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 vezes a necessidade de calagem, calculada pelo método de saturação por bases considerando $V_2=70\%$. Cultivaram-se as plantas até 34 meses de idade, avaliando-se a parte aérea aos 13 e 23 meses, o sistema radicular aos 17 e 34 meses, a concentração de P, Ca, Mg, K, Mn, Zn e Cu nos tecidos aos 15 e 34 meses e o pH, Ca, Mg, Al, m(%) e V(%) do solo aos 2, 17 e 29 meses. Observou-se que para a var. Icatu (IAC 4045), as doses de calcário que promoveram reduções no desenvolvimento da parte aérea aos 23 meses, representada pela altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios e do sistema radicular, representado pelo peso de matéria fresca e superfície radiculares aos 34 meses, foram próximas às que promoveram a maior concentração de Mn nos tecidos. Já na menor concentração do elemento nos tecidos, ocorreram os máximos desenvolvimentos da parte aérea e das raízes. O melhor desenvolvimento das raízes da var. Catimor (232T15-PN) ocorreram entre as doses de calcário de 0,74 a 0,84 NC, coincidindo com as que proporcionaram as maiores concentrações de Ca nos tecidos, enquanto o menor desenvolvimento das raízes ocorreram

na ausência de calagem. É possível que a maior sensibilidade desta variedade determinada previamente, possa ser devido à maior exigência em Ca. As doses de calcário compreendidas entre 0,25 e 0,54 NC foram as que proporcionaram as menores concentrações de P nos tecidos e o melhor desenvolvimento das raízes e parte aérea da var. Catuaí Vermelho IAC 99 . Houve aumento linear no comprimento e superfície radicular específicos da var. Catuaí Vermelho IAC 15, indicando que as raízes ficaram mais finas e alongadas com o aumento das doses de calcário. Já no solo, a lixiviação de cátions abaixo da camada arável mostrou-se mais acentuada aos 2 meses após a calagem inicial e aos 8 meses após uma nova aplicação de calcário (29 meses após a implantação do experimento). Em geral a saturação por alumínio até 29,6% na camada arável do solo (0-20 cm) não causou impedimento ao desenvolvimento das raízes e parte aérea das variedades utilizadas no experimento até os 34 meses de idade.

ABSTRACT

MENDONÇA, Sebastião Marcos de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, May 2002.
Coffe-free liming response in soil with high aluminium saturation. Adviser:
Hermínia Emília Prieto Martinez. Committee members : Júlio César Lima Neves,
Paulo Tácito Gontijo Guimarães and Cosme Damião Cruz.

It was evaluated, in field conditions, the development of the varieties previously classified as sensible, Catimor (232T15-PN), moderately tolerant, Catuaí 99 and Catuaí Vermelho IAC 15 and tolerant, Icatu (IAC 4045), submitted to four limestone levels, 0,0; 0,5; 1,0 and 1,5 times the limestone necessity (LN), calculated by the saturation of basis method, considering $V_2=70\%$. The plants were cultivated up to 34 months, being evaluated the shoots at 13 and 23 months, the root system at 17 and 34 months, the concentration of P, Ca, Mg, K, Mn, Zn and Cu in the tissues at 15 and 34 months and the pH, Ca, Mg, Al, m (%) and V (%) of the soil at 2, 17 and 29 months. It was observed that for the variety Icatu (IAC 4045), the limestone doses that promoted reductions in the development of the aboveground part at 23 months - represented by the height of the plants, number of plagiotropic branches and internodes number - and on the root system - represented by the weight of fresh matter and root surface - at 34 months were close to the ones that promoted the largest Mn concentration in the tissues. Already in the smallest concentration of the element in the tissues occurred the maximum development of the aboveground part and roots. The largest root development of the variety Catimor (232T15-PN) occurred between the limestone doses of 0,74 to 0,84 LN, coinciding with the ones

that provided the largest concentrations of Ca in the tissues, while the smallest development of the roots occurred in the limestone absence. It is possible that the largest sensibility of this variety, previously determined, be due to the largest demand in Ca. The limestone doses between 0,25 and 0,54 LN were the ones that provided the smallest concentrations of P in the tissues and the largest roots and aboveground part developments of the variety Catuaí Vermelho IAC 99. There was lineal increase in the length and surfaces specific roots of the var. Catuaí Vermelho IAC 15, indicating that the roots were fine and prolonged with the increase of the doses of limestone. Already in the soil, the cations lixiviation below the plough layer was shown more accentuated at 2 months after the initial limestoning and at 8 months after the re-limestoning (29 months after the implantation of the experiment). In general the saturation for aluminum up to 29,6% in the superficial layer of the soil (0-20 cm) didn't cause impediment to the development of the roots and shoots of the varieties used in the experiment until the 34 months of age.

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do país que, merece destaque não só pelo aspecto social que desempenha, mas também pelas divisas provenientes das suas exportações. O sistema agroindustrial do café é um dos mais tradicionais e significativos na geração de renda para a economia brasileira. Em 1998 foi responsável por 5% do total das receitas de exportações brasileiras, o que significou US\$ 2,6 bilhões em divisas (SAES & FARINA, 1999).

Nos últimos anos houve um aumento considerável no plantio, principalmente em regiões antes pouco exploradas, como os cerrados, que caracterizam-se por apresentar solos com elevada acidez, baixa disponibilidade de macro e de alguns micronutrientes. Para alcançar produções elevadas e econômicas nestes solos, há necessidade de um conhecimento detalhado de suas características físicas, químicas, propriedades e manejo, tendo como objetivo a condução racional da lavoura desde a fase de plantio até aquelas de formação e produção (GUIMARÃES et al., 1986).

A alta disponibilidade de íons alumínio (Al) nesses solos afeta de forma direta o desenvolvimento das raízes, principalmente porque este elemento tende a concentrar-se na região apical das raízes, provocando morte de células e redução do sistema radicular, o que influencia na absorção de água e nutrientes pela planta.

MARTINEZ & MONNERAT (1991) observaram em cafeeiros, que o Al se acumula preferencialmente nas raízes, sendo uma pequena parte translocado para a parte aérea.

A aplicação de calcário além de fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) às plantas, promove a liberação de elementos que estavam indisponíveis junto aos hidróxidos de ferro e alumínio, aos que estavam insolubilizados, mediante a mineralização da matéria orgânica, minimiza os efeitos tóxicos do Al e manganês (Mn) e aumenta a eficiência da adubação química (ANDRADE, 2001).

A efetividade de aplicação superficial do calcário em lavouras cafeeiras já formadas necessita ser avaliada, particularmente em relação à acidez do subsolo uma vez que a sua incorporação a maiores profundidades pode causar danos mecânicos ao sistema radicular (CHAVES et al., 1984).

Na literatura há muita divergência quanto aos teores de Al que causam toxicidade às plantas. O comportamento diferencial existente entre plantas tolerantes e sensíveis varia em função de espécies e dentro da mesma espécie em função dos cultivares (FURLANI, 1983).

Plantas não adaptadas que crescem em solos com altas concentrações de Al, tem o desenvolvimento do sistema radicular prejudicado, tornando-se as raízes curtas e grossas, de coloração castanha, quebradiças e ocasionalmente com manchas necróticas, o que ocasiona menor exploração de solo pelas plantas, podendo até mesmo demonstrar sintomas de toxicidade nas folhas (FURLANI, 1989).

PAVAN & BINGHAN (1982) verificaram em cafeeiros, que o efeito inicial da toxidez pelo Al foi o retardamento no desenvolvimento do sistema radicular e posteriormente redução no crescimento da parte aérea.

Algumas plantas, entretanto tem a capacidade de aprofundar o sistema radicular, em condições adversas de solo, evidenciando certa tolerância ao alumínio. Os mecanismos de tolerância ao elemento podem estar relacionados à absorção e translocação do próprio elemento (FOY et al., 1978), à capacidade de manutenção da absorção e translocação de fósforo (P) (CAMBRAIA et al., 1991) e à liberação de ácidos orgânicos pelas raízes próximo à rizosfera, complexando o Al (BUCIO et al., 2000).

BRACCINI et al. (1998b) identificaram variedades de cafeeiros sensíveis e tolerantes ao Al, em solução nutritiva, merecendo, pois, testá-las em condições de campo.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar em condições de campo, o desenvolvimento de quatro variedades de cafeeiros - previamente selecionadas como sensíveis e tolerantes ao Al – em resposta à aplicação de calcário.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre (8,3%) e o terceiro elemento químico mais abundante no planeta, depois do oxigênio e silício (GAROTTI, 1992). É também conhecido por causar severas e irreversíveis mudanças na parede celular dos vegetais. Estudos indicam que a lignificação induzida pelo Al também está intimamente relacionada à inibição da elongação celular. SASAKI et al. (1996) observaram que a deposição de lignina na parede celular de ápices radiculares de trigo, na presença de Al, reflete o grau de injúria provocada nas células pelo elemento.

A toxicidade por Al é um problema global que limita a produtividade em solos ácidos, onde o Al^{3+} é solubilizado e inibe o crescimento radicular, tendo como consequência a diminuição no rendimento das culturas. A tolerância a este elemento varia muito com a espécie vegetal, sendo as espécies tropicais geralmente mais tolerantes que as espécies de clima temperado (STAHLBERG, 1982 citado por GAROTTI, 1992).

A avaliação da tolerância ao Al tem sido desenvolvida com o objetivo de elucidar os processos genéticos e fisiológicos, para se buscar uma melhor eficiência de seleção para esse caráter. Assim, o emprego de soluções nutritivas tem sido um procedimento preliminar bastante utilizado para discriminar os genótipos sensíveis e tolerantes, sendo importante, entretanto, avaliá-los posteriormente em condições de campo (MAGNAVACA e BAHIA FILHO, 1992).

Há vários métodos empregados para selecionar plantas tolerantes e sensíveis ao Al, como aqueles baseados na eficiência de utilização de P e Ca, o peso de matéria seca das raízes e parte aérea (JORGE e ARRUDA 1997; BRACCINI et al., 1998a e PINTRO et al., 1998). Porém, a avaliação do crescimento das raízes em solução nutritiva é um dos métodos mais

utilizados, sendo necessário o rígido controle do pH da solução para manter a concentração de Al^{+3} durante os testes (BRACCINI et al., 2000b).

Para o cafeeiro, a concentração do Al nos tecidos não se mostrou um bom indicativo de tolerância ao elemento. Os genótipos sensíveis e tolerantes apresentaram concentrações similares de Al nas raízes e a sensibilidade ao elemento associou-se a maiores reduções na absorção, acúmulo e na eficiência de utilização de Ca e P (BRACCINI et al., 1998a).

O uso de hematoxilina para monitorar infiltração de Al no ápice da raiz tem sido também uma técnica usada para identificar genótipos sensíveis e tolerantes. JORGE e ARRUDA (1997) trabalhando com plantas de milho sensíveis e tolerantes ao elemento, observaram que nos genótipos sensíveis, a coloração escura na ponta da raiz identificava a penetração do Al, que permaneceu nas 72 horas que durou a exposição, enquanto que nos genótipos tolerantes, após 36 horas de exposição, a ponta da raiz recuperou a coloração amarelo pálida típica, mostrando que esta tem um processo de extrusão do Al ou forma um complexo Al-hematoxilina. Para o cafeeiro esta técnica não se mostrou promissora (BRACCINI et al. (2000a).

BRACCINI et al. (2000b) mostraram que para uma concentração de 45 mg.L^{-1} de Al, o uso da técnica do papel solução foi adequada para diferenciar linhagens de cafeeiro sensíveis e tolerantes ao Al. Com base nesta técnica, os autores separaram 26 genótipos em sensíveis, medianamente sensíveis, medianamente tolerantes e tolerantes.

Segundo BUCIO et al. (2000), algumas plantas nativas possuem como estratégia, tolerar a concentração de Al internamente ou precipitá-lo fora da raiz. Em solos ácidos, BRACCINI et al. (2000c) não observaram variações no pH de rizosfera em genótipos de cafeeiros sensíveis e tolerantes ao Al.

Outro assunto bastante discutido, relacionado à tolerância e sensibilidade das plantas ao Al é a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes. Este pode representar uma convergência evolutiva direcionada para reduzir os efeitos do Al, uma vez que protegem as raízes das plantas que os exsudam, da toxicidade do Al (BUCIO et al., 2000). JORGE e ARRUDA (1997) observaram que raízes de milho tolerantes ao Al liberavam de duas a três vezes mais citrato que as plantas sensíveis e de duas a quatro vezes mais citrato que malato.

O crescimento de plantas em solos com altos teores de Al pode ser possível, uma vez que os polipeptídeos exsudados pelas raízes complementam possíveis polipeptídeos

citossólicos que se ligam ao Al, quelatizando o Al solúvel nas proximidades da raiz, limitando sua entrada no simplasma (BASU et al., 1994 a).

A eficiência de utilização de P e Ca, parecem estar relacionados também aos mecanismos de tolerância ao Al. BRACCINI et al. (1998a) trabalhando com genótipos de café sensíveis e tolerantes ao Al, observaram que nos genótipos sensíveis, a eficiência de utilização de P e Ca pela parte aérea diminuíram com a presença do Al, enquanto que os genótipos tolerantes apresentaram aumentos, evidenciado pelo aumento na matéria seca da parte aérea. Nas raízes, a eficiência de utilização de P reduziu-se para os dois genótipos, porém com maior redução para os genótipos sensíveis; a eficiência de utilização de Ca reduziu-se para os genótipos sensíveis e aumentou para os tolerantes, evidenciado também pelo aumento na matéria seca das raízes.

MENOSSO et al. (2000) observaram que aumentando a concentração de Al na solução nutritiva de 0,1 até 0,4 mmol/L, ocorreram reduções no crescimento radicular, inversamente proporcionais às concentrações de Al e com efeitos mais intensos, em cultivares de plantas de soja sensíveis ao elemento. Segundo os autores, o efeito negativo do Al não ocorre diretamente na absorção de Ca, mas na inibição do crescimento das raízes, que por sua vez diminuiu a absorção deste nutriente.

BRACCINI et al. (1998b), em solução nutritiva observaram na presença de 0,296 mmol/L de Al, reduções nas concentrações de P e Ca nas folhas de cafeeiros sensíveis e tolerantes ao Al e aumentos na concentração de P nas raízes, sugerindo como causa a precipitação de fosfato de Al nos tecidos radiculares.

O estresse ao Al não parece ser o principal problema na mudança da composição das plantas em solução nutritiva, mas o menor transporte de P para a parte aérea, devido a possíveis reações de adsorção-precipitação deste nutriente nas raízes, o que reduz a sua translocação para a parte aérea (BRACCINI et al., 1998a). ROSOLEM et al. (2000) citam que nos estudos sobre os efeitos da calagem no desenvolvimento do sistema radicular é importante o emprego de fontes de P isentas de Ca para que os resultados não sejam mascarados, pois às vezes o Ca proveniente do adubo fosfatado pode ser suficiente para promover o crescimento das raízes.

Segundo RYAN et al. (1994) pequenas concentrações de Al podem inibir o crescimento das raízes, sem inibir a absorção de Ca. Já a adição de outros cátions como Mg e Na, estimula o crescimento das raízes e ao mesmo tempo inibe a absorção de cálcio. A redução do crescimento das raízes por baixas concentrações de Al pode estar relacionada ao deslocamento do Ca dos sítios de ligação no apoplasma, onde é requerido para

promover a estabilidade da membrana e o desenvolvimento normal da célula (DELHAIZE e RYAN, 1995).

O crescimento das raízes de plantas sensíveis e tolerantes ao Al, quando expostas a teores elevados do elemento, mostram comportamentos diferentes. Cultivares de milho tolerantes ao Al, expostos a 15 mg.L^{-1} de Al em solução nutritiva, por 114 horas, apresentaram contínuo crescimento do sistema radicular, porém em menor taxa do que quando comparado ao crescimento na ausência de Al. As plantas sensíveis, por sua vez, após 30 horas de exposição à mesma concentração de Al, sofreram paralização no crescimento das raízes, enquanto na ausência do elemento, o crescimento foi normal (JORGE e ARRUDA, 1997).

PINTRO et al. (1998) em trabalho semelhante, observaram reduções no crescimento das raízes de genótipos de milho tolerantes e sensíveis ao Al quando expostos a $10,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de Al, porém com uma menor taxa de redução no crescimento nos genótipos tolerantes, comparado ao crescimento na ausência do elemento. Os autores observaram também que apesar da concentração total de Al ter sido igual entre os genótipos, no ápice da raiz, o genótipo sensível apresentou maior concentração do elemento. DELHAIZE et al. (1995) citam que o ápice da raiz é o local crítico da toxicidade ao Al e os genes para tolerância, provavelmente são expressos nessa região.

BRACCINI et al. (2000b) com o objetivo de determinar as concentrações de Al que melhor discriminassem as linhagens sensíveis e tolerantes ao Al pelo método do papel solução, observaram que o comprimento da raiz principal e o desenvolvimento das raízes laterais das linhagens Catuaí Vermelho IAC 15 e Catimor 232 T15 PN, foram afetados pelo Al, apresentando engrossamento e amarelecimento das extremidades. PASSO e RUIZ (1995) também atribuíram ao Al, em solução nutritiva, a diminuição no crescimento da parte aérea e do sistema radicular de cafeeiros Catuaí e Conilon, aos 120 e 170 dias respectivamente.

Apesar das poucas informações a respeito da tolerância de cultivares de cafeeiro ao Al, e os trabalhos existentes serem na maioria em solução nutritiva, as avaliações de tolerância em condições de campo, mesmo sendo bastante onerosas, com influência de fatores ambientais, de difícil controle e mensuração que podem interferir no processo de seleção e mesmo que sejam demoradas, tem a vantagem de representar fidedignamente as condições naturais (GARCIA et al., 1979 citado por CANÇADO et al., 1999).

Nas regiões tropicais, os problemas de acidez do solo estão mais relacionados com o Al trocável do que com a existência de prótons ionizáveis, sendo a calagem uma

prática comum e rotineira de precipitar o Al trocável além de fonte de Ca para as culturas. O Al^{3+} sofre hidrólise deixando vagos os sítios de troca de cátions, conforme se aumenta o pH do solo, enquanto que a CTC a pH 7,0 parece não sofrer alteração com a calagem (MORELLI et al., 1971 citado por CAMARGO et al., 1997).

ROSOLEM et al. (2000) trabalhando com três cultivares de algodão, observaram aumentos na produção de matéria seca de raízes quando elevaram a saturação por bases de 10 para 70% mediante a calagem, com máximos valores em torno de 50%. Porém, não observaram efeitos significativos da calagem sobre o diâmetro das raízes secundárias.

Segundo CAIRES e ROSOLEM (1998) a calagem não só elevou os teores de Ca no solo a maiores profundidades, como também aumentou a absorção desse nutriente nessas camadas por plantas de amendoim, porém sem correlacionar-se com o crescimento radicular. Entretanto, a maior densidade de raízes ocorreu nos primeiros 20cm, tanto nas entrelinhas como nas linhas de semeadura, e foi correlacionada com o pH, saturação por bases, teores de Ca e saturação por Ca.

CHAVES et al. (1984) observaram também o aumento dos teores de Ca abaixo da camada de 30 cm de profundidade, em duas lavouras de café implantadas sobre solos LRd e LEd. Segundo os autores, o ânion carregador teria sido suprido pelos fertilizantes. Apesar dos relatos, ainda há controvérsias quanto à descida do Ca no perfil do solo, devido apenas à aplicação de calcário. MARTINS (1991) atribuiu a movimentação do Ca do calcário ao ânion HCO_3^- em virtude dos altos valores de pH, quando aplicou a dose de 6 t/ha de calcário.

DAL BÓ (1985) não observou a movimentação do Ca com a aplicação apenas de calcário em colunas de solo num LEa em condições de casa-de-vegetação, quando empregou diferentes doses de CaCO_3 , CaSO_4 e CaCl_2 , seguidos de um período de lixiviação, enquanto o Mg movimentou-se no perfil, atribuindo isto, à maior solubilidade do sulfato de magnésio em relação ao sulfato de cálcio.

A maior movimentação do Mg foi observada também por BOLIVAR (1993), quando aumentou as doses de calcário na superfície. O autor observou aumento linear na concentração de Mg trocável em profundidade, proveniente apenas da calagem com calcário dolomítico, sendo o sulfato e os outros ânions dos fertilizantes, os íons negativamente carregados acompanhantes do sistema.

Quanto à concentração foliar de nutrientes, observou-se que em solos onde não se fez a calagem e com alta acidez, os teores de P, potássio (K) e Ca diminuiriam significativamente, devido ao baixo valor de pH e indisponibilização desses íons, enquanto

que a concentração de Mn aumentou, o que poderia estar relacionado à maior disponibilidade do elemento em solos ácidos (SIQUEIRA e PAVAN, 1997). Já ROSOLEM et al. (2000) observaram que a calagem não interferiu nos teores de P, K e Ca em raízes de algodeiros, mas aumentou os teores de Mg e B e diminuiu os teores de Mn e zinco (Zn). Apesar da redução nos teores de Zn, a parte aérea não mostrou deficiência deste nutriente.

FREITAS (1998) observou que em Minas Gerais, as doses de calcário que estimam o crescimento inicial ótimo do cafeeiro, são aquelas provenientes da elevação da saturação por bases a 70% ou a neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo.

SIQUEIRA e PAVAN (1997) trabalhando com mudas de cafeeiros Mundo Novo, observaram que as plantas cultivadas em solos com acidez corrigida, apresentaram aumento no crescimento de suas raízes e com melhor distribuição destas no perfil de solo, mesmo existindo impedimentos físicos, como a compactação, numa camada subsuperficial. Já nos solos que não sofreram correção, o aumento de sua densidade subsuperficial restringiu o crescimento das raízes na camada compactada e abaixo da mesma, influenciando na distribuição das raízes no perfil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Preparo das mudas

Sementes de variedades de cafeeiro previamente selecionadas em solução nutritiva como sensível ao alumínio progênie de Catimor (232T15-PN), medianamente tolerantes, Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15 e tolerante Icatu (IAC 4045), segundo BRACCINI et al. (1998b), foram escolhidas retirando-se o pergaminho de todas. À seguir foram tratadas com o fungicida captan, enroladas em papel germiteste umedecido com água destilada no volume de 2,5 vezes o peso do papel e colocadas em germinador a uma temperatura de 26°C por 35 dias, quando então atingiram o estágio de palito de fósforo. Após este período, as plântulas foram retiradas do germinador, transferidas para saquinhos de polietileno, encanteiradas em viveiro coberto com uma tela de sombrite 50%, irrigadas diariamente e monitoradas quanto ao ataque de pragas e doenças. Devido a um forte ataque de cercosporiose, as mudas tiveram de ser podadas, fazendo-se em seguida uma adubação de 15 g por muda do adubo 20-00-10, afim de promover um melhor crescimento. Antes de serem levadas ao campo, as mudas passaram por um período de aclimatação com a retirada gradativa do sombrite e a diminuição da irrigação.

3.2. Local

Em março de 1998, instalou-se o experimento em um LVd da Agropecuária Cocais Ltda, próximo ao Ribeirão Cocais, cerca de 29 km à margem direita do trecho BR 262 à cidade de Dores do Indaiá, MG.

3.3. Preparo do terreno e condução do experimento

O solo utilizado na instalação do experimento, constitui-se de um latossolo vermelho amarelo, distrófico, cujas características químicas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização química do solo estudado em duas profundidades

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	P ¹	K ¹	Al ²	Ca ²	Mg ²	(H+Al) ³	S	CTC		V	m
									Efet	Total		
		--mg/dm ³ --				-----cmol/dm ³ -----					---%---	
00-20	4,8	2,3	56	2,9	0,8	0,4	6,6	1,37	4,27	7,97	7,2	67,9
20-40	4,8	0,9	32	2,7	0,4	0,2	6,3	0,65	3,35	6,95	9,4	80,5

(1) Extrator Mehlich – 1; (2) Extrator KCl 1 mol/L; (3) Extrator Ca(CH₃COO)₂ 0,5 mol/L pH 7,0.

Para a instalação do experimento, o solo foi preparado convencionalmente, usando-se uma aração e três gradagens, sendo duas antes de se aplicar os tratamentos e uma após aplicação do calcário para incorporá-lo até os 20 cm de profundidade. O delineamento empregado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4X4 com quatro repetições, quatro variedades de cafeeiros e quatro níveis de calagem que corresponderam a 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 vezes a NC, sendo o método de saturação por bases utilizado para o cálculo, tendo-se considerado 70% como ideal. As doses de calcário empregadas corresponderam a 0,0, 2,1, 4,2 e 6,3 t/ha respectivamente.

O calcário utilizado na implantação do experimento foi um calcário dolomítico que apresentava as seguintes características: PN=119%, RE=100%, e os teores de CaO e MgO, expressos em dag/Kg, respectivamente de 47,9 e 13,4. Quando houve necessidade de uma nova aplicação de calcário, esta foi aplicada superficialmente em toda a extensão da parcela.

As mudas foram plantadas em sulcos, num espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, sendo a parcela constituída de quatro plantas, as duas centrais úteis. A adubação de plantio constou de 300g de super simples e 30 g de cloreto de potássio misturadas ao solo da cova e 30 g de sulfato de amônio aplicado em cobertura no momento do plantio e 30 e 60 dias mais tarde. As adubações de manutenção foram realizadas a cada ano, parcelando-se em três vezes, 400 g/planta do adubo 20-05-20 durante o período de outubro a março. Durante estes meses, também foram realizadas as adubações foliares através de duas pulverizações com sulfato de zinco à 0,3% e ácido bórico à 0,5% como fonte de micronutrientes.

As mudas foram irrigadas por aspersão até os 17 meses após instalado o experimento, quando então as irrigações foram suspensas para melhor caracterizar o comportamento das plantas em resposta às concentrações de Al no solo. As irrigações foram realizadas em dias alternados com duração de aproximadamente duas horas ou segundo as necessidades da cultura determinada visualmente.

O controle de invasoras era realizado sempre que necessário com capina manual próximo a saia do cafeeiro aplicando-se em seguida o herbicida Goal e o herbicida Roundap e entre as linhas de plantio.

Foram realizadas replantas sempre que houvesse necessidade, de forma a manter o stand.

3.4. Análise química do solo

Dois meses após a instalação do experimento, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm de profundidade a fim de avaliar a eficácia da calagem na correção da acidez nos vários tratamentos. Para isso, foram retiradas amostras de solo dos dois lados de cada planta útil e a 90 cm do tronco. Foram determinados o pH e os teores de Al, Ca, Mg (cmolc/dm^3), P e K (mg/dm^3). Foi também calculada a saturação de Al (m%) e a acidez potencial (H+Al%).

Para a extração de Ca, Mg e acidez trocável (Al^{+3}) utilizou-se o KCl 1mol/L, sendo as leituras de Ca e Mg realizadas por espectrofotometria de absorção atômica e as de Al^{+3} determinadas por titulometria (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997). Para P o extrator usado foi o MELICH 1 e a determinação foi feita pelo método colorimétrico (DEFELIPO e RIBEIRO 1997).

Aos 17 meses após o plantio, nova avaliação foi realizada, verificando-se a necessidade de uma nova calagem, a qual foi realizada superficialmente em dezembro do mesmo ano, 21 meses após o plantio ajustando-se os níveis 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 (NC) e considerando-se uma profundidade efetiva de 5 cm. A caracterização química do solo seguiu a mesma metodologia descrita anteriormente. Aos 29 meses após a instalação do experimento, em agosto de 2000, realizou-se nova amostragem do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade sendo determinados os mesmos nutrientes que nas análises anteriores e com as mesmas metodologias.

3.5. Avaliação do crescimento e dos teores de nutrientes nas plantas

Com o objetivo de avaliar o crescimento da parte aérea das quatro variedades estudadas quando expostas a doses crescentes de calcário, avaliaram-se características de crescimento de plantas aos treze e vinte e três meses após o plantio das mudas. Mediram-se a altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos e o número de internódios.

Para avaliar os teores foliares de nutrientes nas plantas, fizeram-se amostragens (15 meses) junho de 1999 e (34 meses após a instalação do experimento) janeiro 2001, retirando-se de 8 a 10 folhas por parcela útil no terço médio das plantas e no terceiro ou quarto par de folhas completamente expandidas à partir do ápice do ramo plagiotrópico. As folhas foram lavadas com água desionizada e secas em estufa de circulação forçada a 70°C por 72 horas. A seguir, foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 malhas por polegada quadrada e submetidas à digestão nítrico-perclórica (GANJE E PAGE, 1974), sendo determinados os teores de Ca, Mg, P, K, Zn, Cu e Mn. As concentrações de Ca, Mg, Mn, Zn e Cu foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, enquanto o P foi determinado por colorimetria pelo método do azul de molibdênio, tendo o ácido ascórbico como agente redutor e o K determinado por fotometria de emissão de chama.

3.6. Avaliação do desenvolvimento do sistema radicular

Para se avaliar o efeito da calagem no desenvolvimento do sistema radicular, realizaram-se amostragens das raízes em agosto de 1999 (17 meses) e janeiro de 2001 (34 meses após a instalação do experimento).

As amostragens foram realizadas com um trado tipo sonda (diâmetro=1,9cm), nos quatro quadrantes da planta que melhor representava a parcela, à 15 cm do caule na primeira avaliação e a 15 a 30 cm do caule na segunda avaliação, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

As raízes foram catadas manualmente, lavadas em água corrente, secas em papel toalha, determinando-se o peso de matéria fresca e o volume radicular, através do deslocamento de água numa proveta graduada. Para que se determinasse a área superficial, as raízes foram coradas com safranina a 1% e passadas por medidor de área foliar (Delta-T Área Measurement System, modelo Área Meter MK2), sendo os resultados utilizados para posterior cálculo de comprimento das raízes. Calculou-se o comprimento de raiz por volume de solo, segundo ROSSIELLO et al. (1995), usando-se a seguinte fórmula:

$L = A / 2(R)$, onde L é o comprimento da raiz (cm/dm³ solo), A é a área superficial de raiz (cm²) lida no medidor de área foliar e R é o raio da raiz (cm), que é determinado pela fórmula:

$R = 2V / A$, sendo V o volume radicular (cm³) determinado pelo deslocamento de água na proveta graduada e A a área superficial lida no medidor de área foliar.

O volume de solo retirado pelo trado, foi extrapolado para a área útil da planta (2,5 m²) e nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, o que representou um volume de solo de 500 dm³ em cada camada. O mesmo foi feito para os valores de peso de matéria fresca de raízes, comprimento e superfície radicular, cujos valores foram analisados por camada de solo e simultaneamente nas duas camadas.

Para avaliar a distribuição percentual das raízes nas diferentes profundidades, transformou-se o comprimento das raízes em cada profundidade, em percentuais do total estimado. Calcularam-se também o comprimento radicular específico (comprimento/ peso de matéria fresca de raízes) e a superfície radicular específica (superfície/ peso de matéria fresca de raízes).

3.7. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, usando-se o programa SAEG - Sistema de Análise Estatística e Genética (EUCLYDES, 1983). Ajustaram-se os modelos lineares, quadráticos e cúbicos, testando-se os coeficientes das equações de regressões ajustadas com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância até o nível de 10% de significância pelo teste F. A escolha do modelo foi feita com base no coeficiente de determinação (R^2) quando dois ou mais modelos foram significativos

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características vegetativas dos cafeeiros avaliadas aos 13 e 23 meses após o plantio.

Até os 23 meses após a implantação do experimento no campo, a altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios apresentaram respostas diferenciadas entre as variedades às doses de calcário empregadas. A altura das plantas aos 13 e 23 meses após o plantio da variedade previamente classificada como medianamente tolerante ao Al, Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou respostas segundo funções quadráticas base raiz quadrada, com pontos de máximo respectivamente nas doses de 0,35 e 0,54 NC. Nestes pontos, as saturações por Al na camada superior do solo foram respectivamente 24,4 e 16,2%.

A variedade Icatu (IAC 4045), previamente classificada como tolerante ao Al não teve seu crescimento em altura influenciado pelas doses de calcário até 13 meses de implantação no campo e apresentou resposta cúbica para o desenvolvimento em altura em avaliação realizada aos 23 meses após a instalação do experimento. Observou-se que os pontos de mínimo e máximo corresponderam às doses de calcário de 0,29 e 1,06 NC, correspondendo às saturações por alumínio na camada superior do solo de 27,4 e 4,1% respectivamente. Tal resultado difere do esperado e pode estar indicando que com baixas doses de calcário, outros fatores, que não a toxidez por Al estariam limitando o crescimento das plantas. Embora o R^2 dessa regressão seja 1,00, o componente cúbico mostra-se significativo a 5% de probabilidade, repetindo o mesmo padrão para o número

de ramos plagiotrópicos e número de internódios, sendo os componentes cúbicos nesses casos significativos a 1% e 5% de probabilidade respectivamente.

Apesar de aos 13 meses a altura das plantas da var. Icatu (IAC 4045) não ter sido influenciada pela aplicação do calcário e o número de internódios ter apresentado decréscimo linear com a calagem, a dispersão dos dados mostra tendência cúbica para essas características (Fig. 1). É importante ressaltar que a variedade Icatu (IAC 4045) possui características genéticas para porte alto, por isso apresenta maior altura comparada às demais variedades.

Já a altura das plantas das variedades Catuaí Vermelho IAC 15, medianamente tolerante e Catimor (232T15-PN), sensível ao Al, não se relacionaram com as doses de calcário aplicadas tanto aos 13 quanto aos 23 meses após a instalação do experimento (Fig. 1).

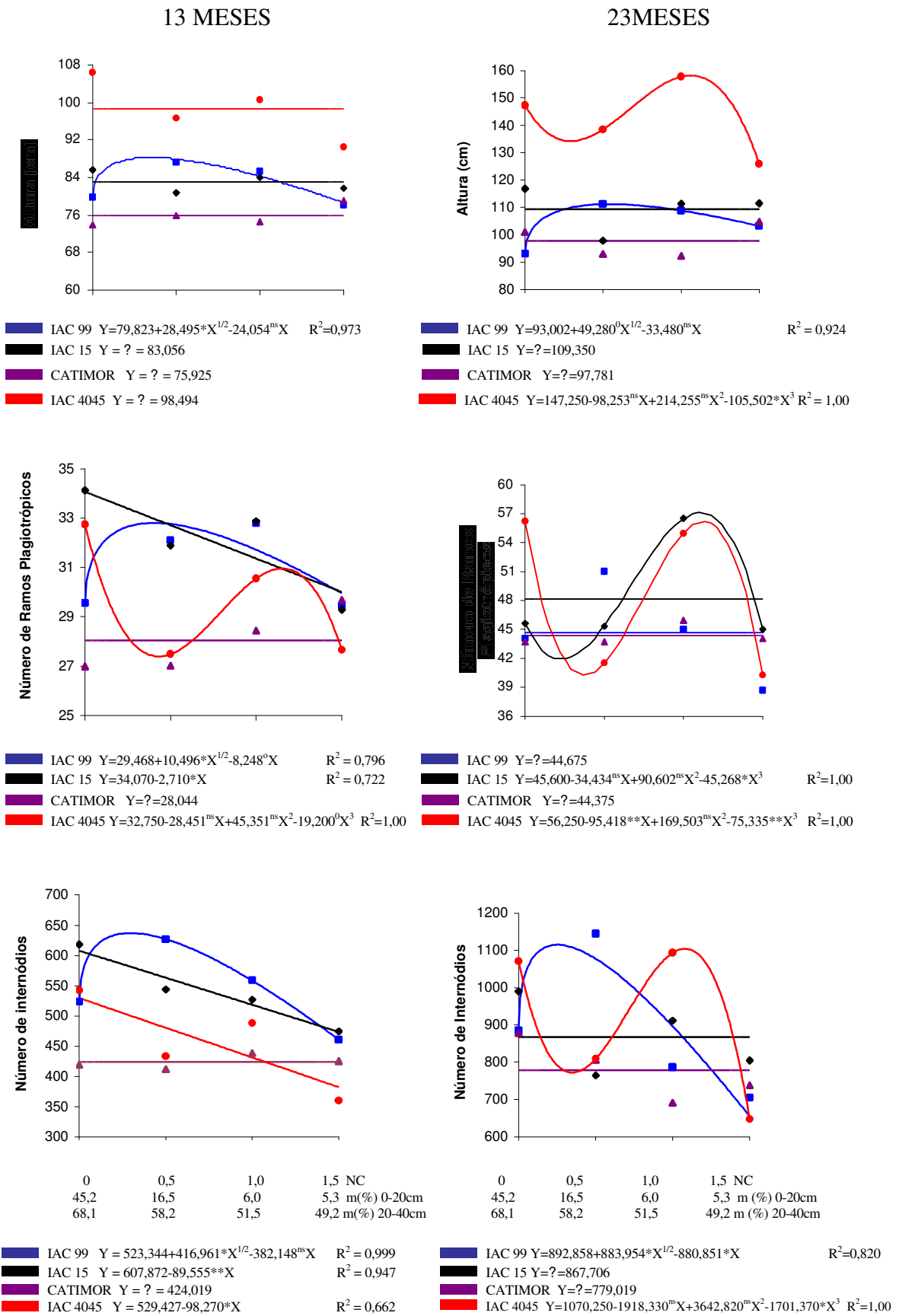


FIGURA 1 - Altura de Planta (cm), Número de Ramos Plagiotrópicos e Número de Internódios das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) aos 13 e 23 meses após a implantação do experimento.

RODRIGUES (1997), trabalhando com as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) em colunas de solo, não observou variações no comprimento de caule para as variedades em estudo até os seis meses e meio de idade, quando submetidas a níveis de saturação de Al em subsuperfície, estando a superfície convenientemente corrigida e adubada.

Aos 13 meses após o plantio, a variedade Catuaí Vermelho IAC 15, previamente classificada como de tolerância intermediária ao Al (BRACCINI et al. 2000a) apresentou redução linear no número de ramos plagiotrópicos, enquanto para a var. Catuaí Vermelho IAC 99, a resposta foi quadrática, com ponto de máximo na dose de 0,40 NC. Neste ponto, o solo apresentava uma saturação por alumínio na camada superior de 22,0%. Para a variedade Icatu (IAC 4045), o número de ramos plagiotrópicos apresentou resposta cúbica à aplicação de calcário, com pontos de mínimo e máximo respectivamente nas doses de calcário de 0,43 e 1,14 NC, os quais relacionaram-se a 20,7 e 3,6% de saturação por alumínio na camada superior do solo. Porém, o maior número de ramos plagiotrópicos foi obtido na ausência de calagem (Fig. 1), o que reforça a hipótese de que com pequenas doses de calcário, outro fator que não a toxidez de Al, estaria prejudicando o crescimento das plantas.

Aos 23 meses após o plantio, as variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045) apresentaram respostas cúbicas à aplicação de calcário para o número de ramos plagiotrópicos. Na variedade Catuaí Vermelho IAC 15, os pontos de mínimo e máximo ocorreram nas doses de 0,23 e 1,1 NC, onde as saturações por Al foram respectivamente 30,6 e 3,8%, enquanto na variedade Icatu (IAC 4045), os pontos de mínimo e máximo ocorreram nas doses de calcário de 0,37 e 1,12 NC, sendo as saturações por Al respectivamente 23,4 e 3,7%. As demais variedades não tiveram o número de ramos plagiotrópicos relacionados com a calagem (Fig. 1).

O número de internódios das variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045), apresentaram reduções lineares com a aplicação de calcário aos 13 meses após o plantio, enquanto a Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou aumento até a dose de 0,30 NC, com decréscimo posterior (Fig. 1). Aos 23 meses após o plantio, a variedade previamente classificada como de tolerância intermediária, Catuaí Vermelho IAC 99 e a variedade tolerante, Icatu (IAC 4045) (BRACCINI et al. 2000 a e b), apresentaram respostas quadrática e cúbica à aplicação de calcário ao solo para o número de internódios. Para a var. Catuaí Vermelho IAC 99, houve um incremento até a dose de calcário de 0,25 NC, ponto este que correspondeu à saturação por Al de 29,5%, enquanto para a Icatu (IAC

4045), os pontos de mínimo e máximo ocorreram respectivamente nas doses de calcário de 0,35 e 1,08 NC. Nestes pontos, as saturações por alumínio na camada superior do solo foram respectivamente 24,4 e 3,9%. As variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Catimor (232 T15-PN) não apresentaram respostas aos NC para o número de internódios.

Os acréscimos e reduções percentuais em relação à dose zero verificados nos pontos de máximo e mínimo, bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados, são mostrados nos quadros 2 e 3 para os dados tomados aos 13 e 23 meses após o plantio respectivamente.

Quadro 2 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC, bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para altura de planta (ALT), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e número de internódios (INT) 13 meses após o plantio

Variedades		P. Max. (NC)	P. mín. (NC)	Acrésc (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	ALT	0,35	---	10,6	---	0,35	1,5
	NRP	0,40	---	11,3	---	0,40	0,0
	INTI	0,30	---	21,7	---	0,30	1,5
IAC 15	ALT	---	---	---	---	---	---
	NRP	---	---	---	11,5	0,0	1,5
	INTI	---	---	---	22,1	0,0	1,5
IAC 4045	ALT	---	---	---	---	---	---
	NRP	1,14	0,43	---	5,9 e 16,4	0,0	0,43
	INTI	---	---	---	27,8	0,0	1,5

Quadro 3 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC, bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para altura de planta (ALT), número de ramos plagiotrópicos (NRP) e número de internódios (INT) 23 meses após o plantio.

Variedades		P. Max. (NC)	P. mín. (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor observado	Dose para menor valor observado
IAC 99	ALT	0,54	---	18,7	---	0,54	0,0
	NRP	---	---	---	---	---	---
	INTI	0,25	---	24,8	---	0,25	1,5
IAC 15	ALT	---	---	---	---	---	---
	NRP	1,1	0,23	25,2	8,1	1,1	0,23
	INTI	---	---	---	---	---	---
IAC 4045	ALT	1,06	0,29	7,4	8,9	1,06	1,60
	NRP	1,12	0,37	---	28,3	1,12	0,37
	INTI	1,08	0,35	3,2	27,8	1,08	1,80

CORREA (1992) analisando os dados fenológicos de plantas da var. Mundo Novo aos 23 meses, quando aplicou doses crescentes de calcário e gesso em um latossolo roxo distrófico, observou que quando aplicou calcário e calcário+gesso, a altura das plantas e o número de internódios foram características que não se correlacionaram com a aplicação dos corretivos.

As alturas e o número de ramos plagiotrópicos médios obtidos aos 23 meses, mostram que as plantas apresentaram desenvolvimento adequado no período. A altura média das plantas variou entre 90 e 140 cm (Fig. 1). AUGUSTO (2000) obteve altura média de 46 cm para a var. Catuaí Vermelho IAC 99 e de 39 cm para a var. Catimor (232T15-PN), plantadas no mesmo espaçamento que este experimento, aos 20 meses após o plantio. Para o número de ramos plagiotrópicos esse autor obteve 25 e 23 respectivamente para as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catimor (232T15-PN), enquanto que neste trabalho tais valores se encontraram na faixa entre 40 e 55. Convém lembrar que este experimento foi irrigado até a idade de 17 meses, enquanto o de AUGUSTO (2000) não recebeu irrigações suplementares.

As avaliações de crescimento das plantas após 34 meses de implantação do experimento, bem como a avaliação da produção não são apresentados por não serem confiáveis, devido à problemas ocorridos com a entrada de animais no experimento, que ocasionaram quebra e perda de inúmeras plantas. Cabe salientar entretanto, que dentro de uma mesma variedade parece haver correlação entre altura da planta e produtividade. AUGUSTO (2000) verificou que na primeira colheita, a altura foi o caráter vegetativo determinante da produção para seis variedades de cafeeiros plantados com diferentes espaçamentos. Na segunda colheita, para o espaçamento 2,5 m entre linhas, o autor verificou que a altura das plantas, o número de ramos plagiotrópicos e o diâmetro do caule explicaram a variação da produtividade com um R^2 de 0,96, em análise de trilha. Assim sendo, seria de se esperar que as variedades que apresentaram resposta à calagem em seu crescimento, apresentassem igualmente resposta em termos de produção. Nesse caso, é necessário atentar para o fato da variedade previamente classificada como sensível, Catimor (232T15-PN), ter apresentado variações na altura das plantas às quais não se ajustaram os modelos de regressão testados.

4.2. Concentração de nutrientes nos tecidos aos 15 e 34 meses após o plantio das mudas.

No presente trabalho, foram determinados os teores dos macro e micronutrientes nas folhas e estes apresentaram respostas diferenciadas entre as variedades às doses de calcário empregadas.

4.2.1 Fósforo

Aos 15 meses após o plantio das mudas, os teores foliares de P da variedade Catuaí Vermelho IAC 15 não variaram em função das doses de calcário empregadas, os da variedade Catimor (232T15-PN) apresentaram aumentos lineares, os da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 reduziram-se até a dose de 0,34 NC, a qual correspondia à saturação por alumínio na camada superior do solo de 24,9% e os da variedade Icatu (IAC 4045) variaram segundo uma função cúbica, com pontos de máximo e mínimo nas doses de 0,42 e 1,1 NC (Fig. 2). Nestes pontos, as saturações por alumínio foram de 21,1 e 3,8% respectivamente. As variações nas concentrações de P observadas para as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) pareceram relacionar-se inversamente às respostas de crescimento das plantas (Fig. 1), ou seja, quando as plantas apresentaram maior crescimento a concentração foliar de P foi menor. Tal comportamento pode ser creditado a efeitos de diluição e concentração promovidos por diferenças no crescimento das plantas, aliada ao fato da maior taxa de absorção de P na fase inicial da cultura.

Na avaliação realizada aos 15 meses, os teores de P de todas as variedades encontraram-se abaixo dos obtidos por AUGUSTO (2000) aos 21 meses após o plantio e que variaram de 0,146 a 0,165 dag/kg. Convém ressaltar que no plantio das mudas no campo, foi aplicado 300 g/cova de super fosfato-simples e no período de outubro a março de cada ano, foram aplicados 400 g/cova do formulado 20-05-20, o que deveria ser suficiente para um bom suprimento às plantas. Convém salientar ainda que não se encontraram na literatura padrões de diagnóstico para essa idade e época de amostragem.

Aos 34 meses após a instalação do experimento, apenas o teor de P da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 respondeu à aplicação de calcário. Observou-se um decréscimo até a dose de calcário de 1,1 NC, que correspondia a 3,8% de saturação por Al na camada superior do solo (Fig. 3). Até a dose estimada de 0,62 NC as folhas apresentaram teores

elevados de P, e somente à partir dessa dose de calcário é que o teor de P das folhas encontrou-se dentro da faixa de suficiência (0,10-0,15 dag/kg) sugerida por MENEZES (2001), para a região de Patrocínio-MG. Também neste caso as maiores concentrações foliares correspondem ao menor crescimento, embora as concentrações observadas não possam ser consideradas limitantes. Para as demais variedades não houve resposta do teor de P à aplicação de calcário (Fig. 3), mas em todas elas o teor do elemento encontrou-se dentro da faixa de suficiência.

Os pontos de máximo e mínimo, bem como seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de P nos tecidos são apresentados no quadro 4.

De acordo com FARDEAU (1996) citado por NOVAIS e SMYTH (1999), os valores de P na solução do solo variam entre 0,002 e 2 mg/L. O fato da concentração de P nas folhas encontrarem-se dentro da faixa de suficiência, refletiu a concentração do elemento no solo, superior a 10 mg/dm³, considerado alto segundo (ALVAREZ V. et al 1999), em análise realizada aos 29 meses após a instalação do experimento (Quadro 4).

Quadro 4 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC, e as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de fósforo nos tecidos aos 15 e 34 meses após o plantio

Variedades	Idade (meses)	P. Max (NC)	P. mín (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	15	---	0,34	---	16,0	1,5	0,34
	34	---	1,1	---	34,7	0,0	1,1
232T15-PN	15	---	---	13,3	---	1,5	0,0
	34	---	---	---	---	---	---
IAC 4045	15	0,42	1,1	19,5 e 7,8	---	1,5	0,0
	34	---	---	---	---	---	---

4.2.2. Ca, Mg e K

Aos 15 meses após o plantio, houve aumentos lineares nas concentrações foliares de Ca das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045) com o aumento das doses de calcário aplicadas, indicando que à medida que se aumenta a disponibilidade de cálcio e magnésio no solo por meio da calagem, aumentam também a absorção e translocação destes nutrientes para as folhas, enquanto a variedade Catimor (232T15-PN) apresentou resposta cúbica, com ponto de mínimo correspondendo a 0,29 NC e de máximo em 1,21 NC. Nestes pontos, as saturações por Al na camada superior do solo foram respectivamente de 27,4 e 3,4% (Fig. 2).

Os teores de Ca nessa avaliação foram comparados aos obtidos para plantas com 21 meses no campo, AUGUSTO (2000), em ensaio com diferentes espaçamentos e variaram de 0,84 a 0,89 dag/kg. Na variedade Icatu (IAC 4045), os teores de Ca mostraram-se comparáveis à estes nas doses de calcário superiores a 0,45 NC; na variedade Catimor (232T15-PN) os teores encontraram-se abaixo entre as doses 0,09 e 0,42 NC e nas variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15 os teores mostraram-se comparáveis em todas as doses de calcário aplicadas.

O aumento das doses de calcário também implicou aumentos nas concentrações foliares de Mg, aumentos lineares para Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15, quadráticos para a variedade Icatu (IAC 4045) com ponto de máximo na dose de 1,03 NC, ponto este que correspondia a uma saturação por Al na camada superior do solo de 4,4% e cúbica para a variedade Catimor (232T15-PN), cujos pontos de mínimo e máximo ocorreram nas doses de calcário de 0,25 e 1,15 NC, que correspondiam a 29,5 e 3,6% de saturação por Al na camada superior do solo (Fig. 2). Sabendo-se que o calcário dolomítico contém 47,9% de CaO e 13,4% de MgO, excetuando-se o observado para a variedade Catimor, as respostas corresponderam ao esperado.

Os teores de magnésio aos 15 meses foram comparados aos obtidos por AUGUSTO (2000), de 0,32 a 0,36 dag/kg. Para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 o teor do nutriente apresentou teores comparáveis a estes acima de 0,29 NC, para a variedade Icatu (IAC 4045) acima de 0,17 NC, para a variedade Catuaí Vermelho IAC 15 em todas as doses de calcário aplicadas e para a variedade Catimor (232T15-PN), os teores encontraram-se abaixo destes entre as doses 0,10 e 0,40 NC.

Os teores foliares de K reduziram-se com o aumento das doses de calcário empregado para as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15

(Fig. 2), revelando que o aumento da disponibilidade de Ca e Mg restringiram a concentração de K. Para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 a resposta foi linear e para a Catuaí Vermelho IAC 15 foi quadrática, com ponto de mínimo na dose de 0,87 NC, ponto que correspondia a 6,8% de saturação por alumínio na camada superior do solo. Para a variedade Icatu (IAC 4045) as concentrações de K foliares não sofreram influência da disponibilidade de Ca e Mg.

A variedade Catimor (232T15-PN) foi a que apresentou maior sensibilidade à proporção relativa de cátions. Para esta variedade as concentrações de K nas folhas variaram segundo uma função cúbica com ponto de máximo correspondente a 0,28 NC e mínimo correspondente a 1,15 NC, ou seja, comportamento inverso ao que se observou para Ca e Mg (Fig. 2). Com doses pequenas de calcário, a proporção relativa de K limitou as absorções de Ca e Mg. Com doses de calcário próximas à NC as proporções relativas de Ca e Mg limitaram a concentração de K.

Os teores foliares de K de todas as variedades encontraram-se abaixo dos obtidos por AUGUSTO (2000), em cafeeiros com 21 meses após o plantio em diferentes espaçamentos empregados.

Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de Ca, Mg e K aos 15 meses após o plantio, são mostrados no quadro 5.

Aos 34 meses após o plantio, os teores de Ca da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 continuaram apresentando incremento linear com o aumento das doses de calcário, enquanto que para as variedades Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045), as respostas foram quadráticas, com pontos de máximo e mínimo respectivamente em 0,84 e 0,77 NC, pontos que correspondiam a 7,4 e 9,0% de saturação por alumínio na camada superior do solo, e para a variedade Catuaí Vermelho IAC 15, a resposta foi cúbica com pontos de máximo e mínimo respectivamente nas doses de 0,39 e 1,15 NC. Nestes pontos, a saturação por alumínio na camada superior do solo foram respectivamente 22,5 e 3,6% (Fig. 3).

Quadro 5 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de cálcio, magnésio e potássio em dag/kg nos tecidos aos 15 meses após o plantio

Variedades	Nutrientes	P. Max (NC)	P. Min (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Ca	---	---	22,6	---	1,5	0,0
	Mg	---	---	38,2	---	1,5	0,0
	K	---	---	---	28,8	0,0	1,5
IAC 15	Ca	---	---	14,0	---	1,5	0,0
	Mg	---	---	27,8	---	1,5	0,0
	K	---	0,87	---	22,3	0,0	0,87
232T15-PN	Ca	1,21	0,29	17,3	9,8	1,21	0,29
	Mg	1,15	0,25	49,9	18,3	1,15	0,25
	K	0,28	1,15	20,3	33,9	0,28	1,15
IAC 4045	Ca	---	---	33,4	---	1,5	0,0
	Mg	1,03	---	78,8	---	1,03	0,0
	K	---	---	---	---	---	---

Para a variedade Icatu (IAC 4045), a maior concentração de Ca foi obtida na ausência de calagem. Este fato pode estar relacionado à sua eficiência de absorver Ca, uma vez que, mesmo com altas concentrações de Al no solo, o crescimento não foi severamente reduzido nessas condições, podendo ser este um mecanismo de tolerância ao Al. De acordo com FOY e FLEMING (1978), a tolerância entre cultivares de trigo, cevada, soja e feijão pode estar associada com a capacidade destes cultivares de absorverem e transportarem o Ca na presença de Al.

Os teores de Ca aos 34 meses foram comparados à faixa de suficiência (1,00-1,34 dag/kg), sugerida para a região de Patrocínio-MG por MENEZES (2001), para cafeeiros adultos. Para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 os teores foram comparáveis a estes, na dose acima de 0,47 NC, para a variedade Catimor (232T15-PN) os teores encontraram-se dentro da faixa de suficiência entre 0,34 e 1,34 NC, enquanto para as variedades Catuaí

Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045), os teores apresentaram-se dentro da faixa de suficiência ou muito próximos da mesma.

Aos 34 meses após o plantio, os teores de Mg das variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15 apresentaram incrementos lineares em resposta à aplicação de calcário, enquanto as variedades Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) não apresentaram respostas à aplicação dos tratamentos.

Já a faixa de suficiência (0,36-0,52 dag/kg) sugerida para a região de Patrocínio-MG por MENEZES (2001), somente foi obtida para as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15, à partir das doses de calcário de 0,33 e 0,21 NC respectivamente, enquanto para as demais o teor de Mg encontrou-se dentro da faixa de suficiência (Fig. 3).

CHAVES et al. (1984) avaliando a resposta à aplicação de calcário em duas lavouras cafeeiras, Mundo Novo e Bourbon Amarelo, no estado do Paraná, observaram que para ambas variedades os teores foliares de Ca e Mg aumentaram com o aumento da quantidade de calcário aplicado.

Aos 34 meses, apenas a variedade Catuaí Vermelho IAC 15 apresentou redução linear no teor de K em resposta à aplicação de calcário, enquanto para as demais variedades não houve resposta à aplicação dos tratamentos (Fig. 3). Nesta avaliação, observou-se que para a variedade Catuaí Vermelho IAC 15, houve interação competitiva entre os elementos Mg e K. O aumento dos teores foliares de Mg provocou a redução dos teores de K, ambos de forma linear, apesar destes encontrarem-se dentro da faixa de suficiência.

É importante salientar que os teores foliares de K da variedade Icatu (IAC 4045), em ambas avaliações, apesar de não terem respondido à aplicação de calcário no solo, apresentaram as maiores concentrações em comparação com as demais variedades (Figuras 2 e 3).

Os teores de K de todas as variedades estavam acima da faixa de suficiência (2,24-3,10 dag/kg) estabelecida por MENEZES (2001) para a região de Patrocínio- MG.

As interações entre os íons Ca e Mg com os de K tem sido frequentemente documentadas na literatura. CHAVES et al. (1984) observaram que a menor concentração de K nos tecidos foliares, com o aumento de doses de calcário, foi resultante da redução de K disponível no solo e do aumento das relações entre Ca-K e Mg-K no solo, em duas lavouras cafeeiras, implantadas sobre solos LRD e LEd.

Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de Ca, Mg e K aos 34 meses após o plantio, são mostrados no quadro 6.

Quadro 6 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de cálcio, magnésio e potássio em dag/kg nos tecidos aos 34 meses após o plantio

Variedade	Nutrientes	P. Max (NC)	P. Min (NC)	Acréscimo (%)	Red. (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Ca	---	---	64,8	---	1,5	0,0
	Mg	---	---	46,3	---	1,5	0,0
	K	---	---	---	---	---	---
IAC 15	Ca	0,39	1,15	24,4 e 1,9	---	0,39	0,0
	Mg	---	---	24,1	---	1,5	0,0
	K	---	---	---	17,3	0,0	1,5
232T15-PN	Ca	0,84	---	34,2	---	0,84	0,0
	Mg	---	---	---	---	---	---
	K	---	---	---	---	---	---
IAC 4045	Ca	---	0,77	---	14,7	0,0	0,77
	Mg	---	---	---	---	---	---
	K	---	---	---	---	---	---

4.2.3. Mn, Cu e Zn

Aos 15 meses, as concentrações foliares de Mn reduziram-se com o aumento das doses de calcário para todas as variedades. Para a variedade Icatu (IAC 4045) a redução foi quadrática com ponto de mínimo na dose de calcário de 1,00 NC, que correspondia à saturação por alumínio na camada superior do solo de 6,0%, enquanto para as demais variedades as reduções foram lineares (Fig. 4).

Estas reduções estão associadas à menor disponibilidade do elemento com a elevação do pH, conforme se aumentou as doses de calcário. MALAVOLTA et al. (1997), mostram que há uma relação inversa entre o aumento do pH e a disponibilização de Mn.

Segundo (CHAVES et al., 1984), a diminuição na concentração de Mn nas folhas com o aumento das doses de calcário, é provavelmente devida à oxidação do Mn no solo e a um estado de maior valência com o aumento dos valores de pH.

ROSOLEM et al. (2000) observaram também que o aumento da saturação por bases pela calagem, reduziu os teores de Mn na parte aérea de algodoeiros.

Tomando como referência os valores de Mn (233,6-276,2 mg/kg) obtidos por AUGUSTO (2000), observou-se que os teores do nutriente nas variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catimor (232T15-PN) foram comparáveis a estes nas doses de calcário respectivamente acima de 1,33 e 1,43 NC, enquanto para as variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045), os teores do nutriente encontraram-se acima dos valores comparados em todas as doses de calcário empregadas. No entanto, a referência citada não fornece padrões de diagnóstico. A comparação com padrões de diagnóstico obtidos para plantas adultas por diversos autores, indica teores excessivos de Mn para todas as variedades com todas as doses de calcário empregadas.

Do ponto de vista prático, as variações nas concentrações de Zn e Cu não são muito relevantes nas variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045), embora sejam significativas. Chama a atenção a resposta da var. Catimor (232T15-PN), cuja concentração foliar de Cu se eleva linearmente com o aumento das doses de calcário, e cuja concentração de Zn se relaciona às concentrações de K, Ca e Mg. Obtém-se ponto de mínimo de 0,23 NC para a concentração de Zn, muito próximo aos pontos de mínimo observados para Ca e Mg e do ponto de máximo observado para as concentrações foliares de K. Já a concentração máxima desse nutriente ocorre em 1,07 NC, sofrendo drástica redução com doses de calcário mais elevadas. Nos pontos de mínimo e máximo da concentração de Zn, as saturações por alumínio na camada superior do solo foram respectivamente 30,6 e 4,0% (Fig. 4).

Aos 15 meses após o plantio, os teores de Zn de todas as variedades encontraram-se bastante acima dos teores (5,6-5,8 mg/kg), obtidos por AUGUSTO (2000), em cafeeiros com 21 meses em diferentes espaçamentos.

Aos 15 meses após a instalação do experimento, os teores de Cu das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045) apresentaram respostas quadráticas à aplicação de calcário. Para as variedades Catuaí Vermelho IAC 99

e Catuaí Vermelho IAC 15, os pontos de mínimo ocorreram nas doses de calcário de 0,29 e 0,81 NC respectivamente, pontos estes que correspondiam a 27,4 e 8,0% de saturação por alumínio na camada superior do solo, enquanto para a variedade Icatu (IAC 4045) o comportamento foi inverso com ponto de máximo na dose de 0,57 NC, que correspondia a 15,1% de saturação por alumínio na camada superior do solo. Para a variedade Catimor a resposta foi linear (Fig. 4). Além disso, observou-se que os teores do elemento nas variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Icatu (IAC 4045) encontraram-se acima das concentrações encontradas por AUGUSTO (2000), cujos valores situaram-se entre 6,8-8,9 mg/kg. Para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99, a concentração de Cu encontrou-se entre as concentrações obtidas por AUGUSTO (2000) ou estavam acima delas, o mesmo acontecendo para a variedade Catimor (232T15-PN) à partir da dose de 0,07 NC. Os pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC, bem como as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações foliares estimadas de Mn, Zn e Cu aos 15 meses após o plantio se encontram no quadro 7.

Na avaliação da parte aérea aos 13 meses, observou-se que para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99, a melhor resposta ao calcário ocorreu entre as doses de 0,30 e 0,40 NC. Coincidentemente, as doses que proporcionaram o menor teor de Cu e o maior teor de Zn nas folhas foram respectivamente as doses de 0,29 e 0,33 NC. Isto parece sinalizar que até esta idade, uma relação mais ampla destes nutrientes proporcionam o melhor desenvolvimento das plantas, representada pelo número de ramos plagiotrópicos e número de internódios.

Aos 34 meses após a instalação do experimento, os teores de Mn de todas as variedades, encontraram-se acima da faixa de suficiência (77-141 mg/kg), sugerida para a região de Patrocínio-MG por MENEZES (2001). Os teores foliares do elemento não foram influenciados pela aplicação de calcário nas variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15. Para a variedade Catimor (232T15-PN), os pontos de mínimo e máximo ocorreram nas doses de 0,34 e 1,16 NC respectivamente, enquanto para a variedade Icatu (IAC 4045), ocorreu o inverso, com os pontos de máximo e mínimo obtidos respectivamente nas doses de calcário de 0,20 e 1,1 NC. Nestes pontos, a saturação por alumínio na camada superior do solo foram respectivamente 32,3 e 3,8%. (Fig. 5).

Quadro 7 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de manganês, zinco e cobre em mg/kg nos tecidos aos 15 meses após o plantio

Variedades	Nutrientes	P. Max (NC)	P. Min (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Mn	---	---	---	51,7	0,0	1,5
	Zn	0,33	1,21	30,7	26,2	0,33	1,21
	Cu	---	0,29	---	18,1	1,5	0,29
IAC 15	Mn	---	---	---	34,7	0,0	1,5
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	---	0,81	---	16,7	0,0	0,81
232T15-PN	Mn	---	---	---	40,8	0,0	1,5
	Zn	1,07	0,23	68,7	24,0	1,07	1,5
	Cu	---	---	220,7	---	1,5	0,0
IAC 4045	Mn	---	1,0	---	27,9	0,0	1,0
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	0,57	---	30,2	---	0,57	0,0

É possível que o desenvolvimento da parte aérea da variedade Icatu (IAC 4045) tenha sido influenciado pelo teor excessivo de Mn nos tecidos. Observou-se que no ponto de máxima concentração do elemento, ocorreu o menor desenvolvimento da parte aérea, representado pela altura, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios, enquanto que na menor concentração foliar, houve o máximo desenvolvimento da parte aérea (Figuras 5 e 1).

Segundo PAVAN & BINGHAM (1981) citado por CHAVES et al. (1984), concentrações de Mn nos tecidos foliares de cafeeiros variando de 400 a 500 ug/g podem causar sintomas de toxidez na variedade Bourbon.

Aos 34 meses após o plantio, não observou-se variação nos teores de Zn em resposta à aplicação de calcário em nenhuma variedade (Fig. 5), e em todas elas o teor do elemento encontrou-se abaixo da faixa de suficiência (13-30 mg/kg) sugerida para a região de Patriocínio-MG por MENEZES (2001).

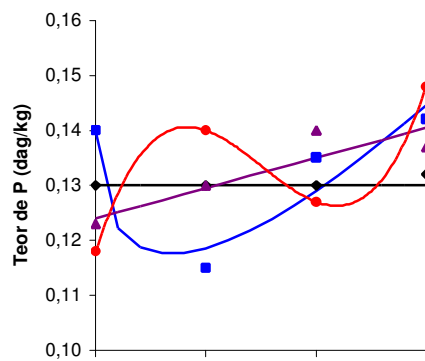
Aos 34 meses após o plantio, o teor de Cu da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou uma redução linear em resposta à aplicação de calcário, enquanto nas demais variedades não observou-se resposta (Fig. 5).

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), na solução do solo o Ca^{2+} impede a absorção exagerada de Cu^{2+} , evitando assim a toxidez. Para esta variedade, parece haver esse antagonismo, uma vez que, o aumento dos teores de Ca e Mg, refletem na redução linear do teor de Cu nas folhas (Figuras 3 e 5).

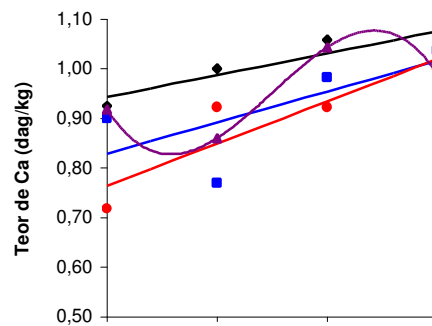
Os teores de Cu de todas as variedades, encontraram-se abaixo da faixa de suficiência (34-64 mg/kg), sugerida para a região de Patrocínio-MG por MENEZES (2001) nesta avaliação.

Quadro 8 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam as maiores e menores concentrações estimadas de manganês, zinco e cobre em mg/kg nos tecidos aos 34 meses após o plantio

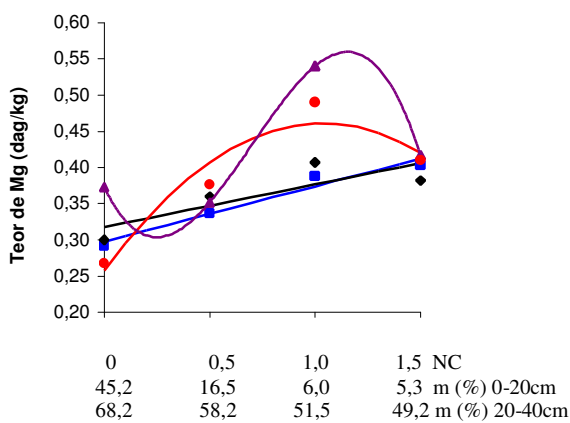
Variedades	Nutrientes	P. Max (NC)	P. Min (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Mn	---	---	---	---	---	---
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	---	---	---	23,5	0,0	1,5
IAC 15	Mn	---	---	---	---	---	---
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	---	---	---	---	---	---
232T15-PN	Mn	1,16	0,34	13,4	30,3	1,16	0,34
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	---	---	---	---	---	---
IAC 4045	Mn	0,20	1,1	8,6	44,7	0,20	1,1
	Zn	---	---	---	---	---	---
	Cu	---	---	---	---	---	---



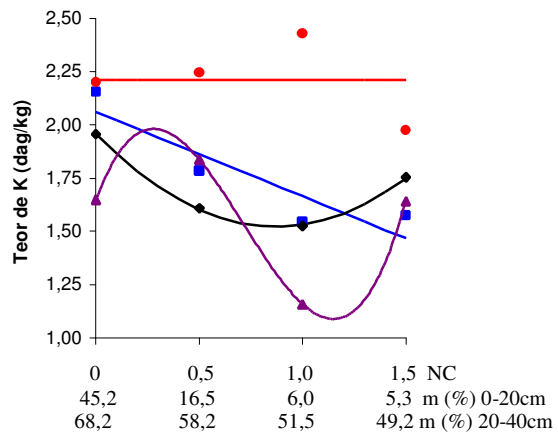
■ IAC 99 $Y=0,140-0,077*X^{1/2}+0,066^{ns}X$ $R^2=0,882$
 ● IAC 15 $Y=? = 0,13$
 ▲ Catimor $Y=0,124+0,011**X$ $R^2=0,807$
 ● IAC 4045 $Y=0,118+0,125**X-0,205^{ns}X^2+0,090**X^3$ $R^2=1,00$



■ IAC 99 $Y=0,829+0,125^0X$ $R^2=0,481$
 ● IAC 15 $Y=0,943+0,088^0X$ $R^2=0,851$
 ▲ Catimor $Y=0,917-0,672*X+1,430^{ns}X^2-0,633*X^3$ $R^2=1,00$
 ● IAC 4045 $Y=0,764+0,170**X$ $R^2=0,817$



■ IAC 99 $Y=0,298+0,076*X$ $R^2=0,959$
 ● IAC 15 $Y=0,318+0,059*X$ $R^2=0,687$
 ▲ Catimor $Y=0,373-0,593^0X+1,450^{ns}X^2-0,690*X^3$ $R^2=1,00$
 ● IAC 4045 $Y=0,258+0,393*X-0,190^0X^2$ $R^2=0,925$



■ IAC 99 $Y=2,060-0,395*X$ $R^2=0,821$
 ● IAC 15 $Y=1,959-1,002^{ns}X+0,575^0X^2$ $R^2=0,999$
 ▲ Catimor $Y=1,648+2,607^{ns}X-5,810^{ns}X^2+2,713*X^3$ $R^2=1,00$
 ● IAC 4045 $Y=? =2,213$

FIGURA 2 – Estimativa dos teores de P, Ca, Mg e K (dag/kg) em quatro variedades de cafeeiros avaliado aos 15 meses após a instalação do experimento em função da aplicação de calcário ao solo.

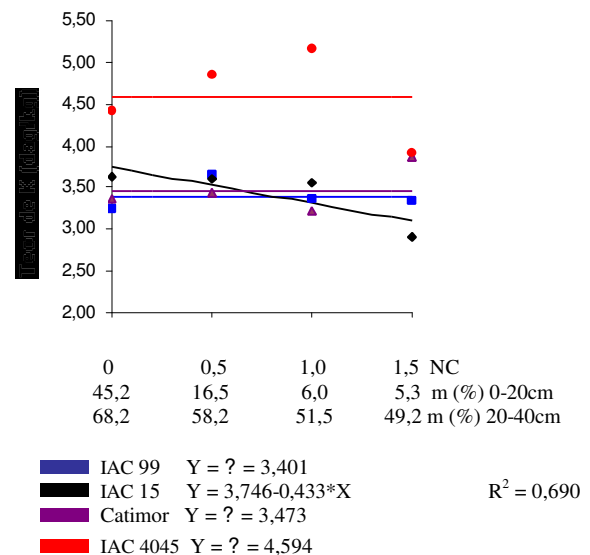
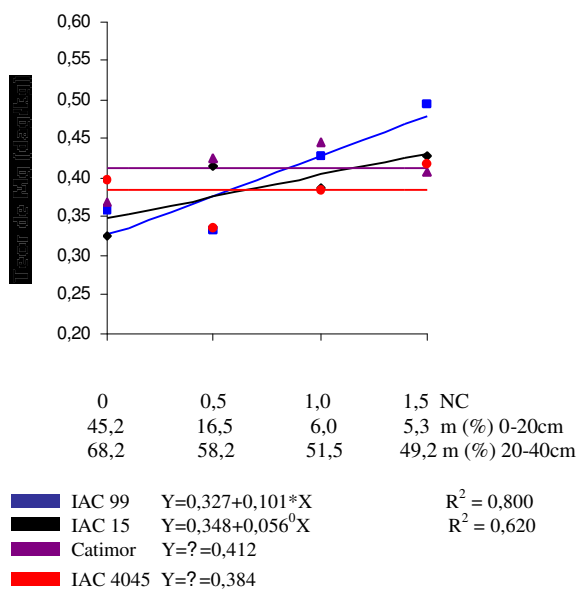
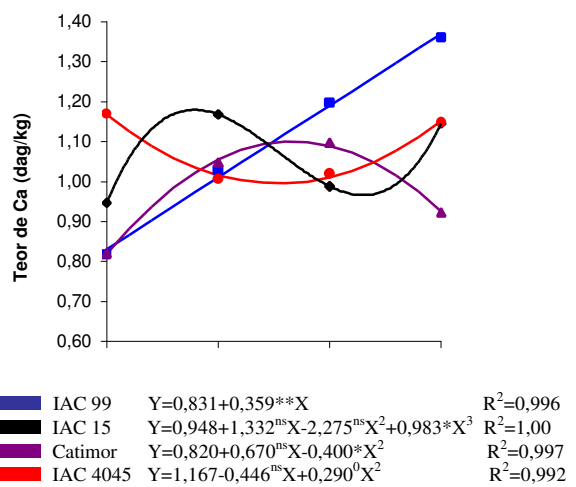
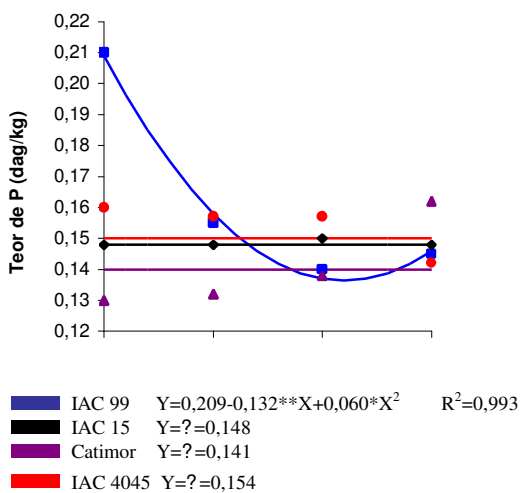
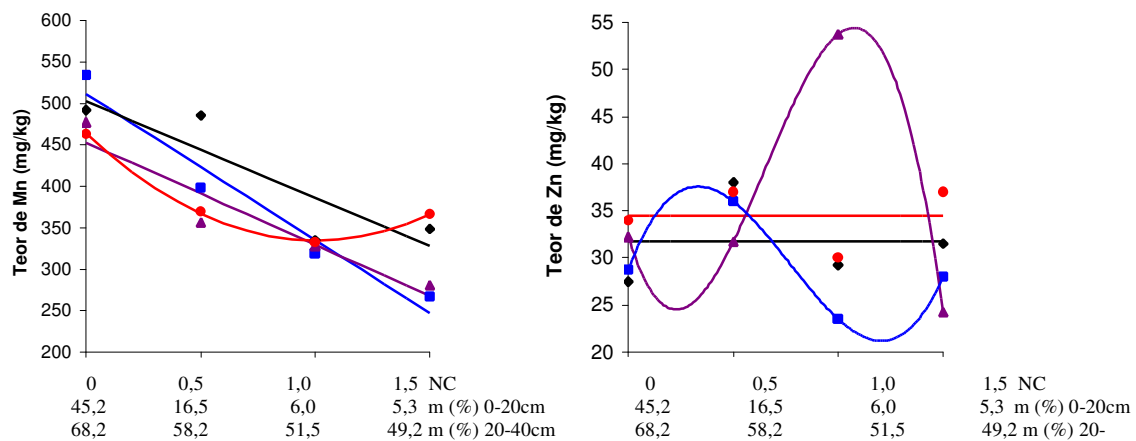
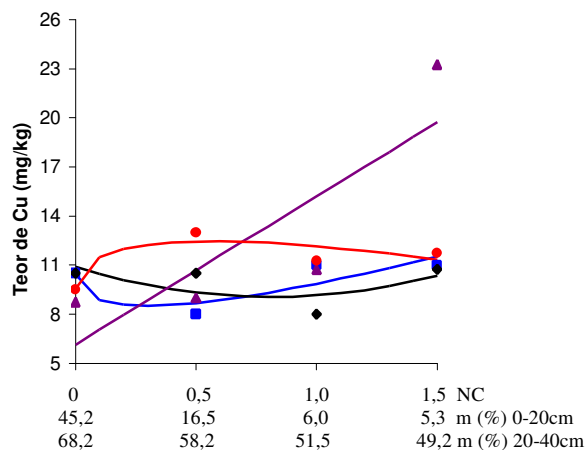


FIGURA 3 – Teores de P, Ca, Mg e K (dag/Kg) de quatro variedades de cafeeiros avaliado aos 34 meses após a instalação do experimento em função da aplicação de calcário ao solo.



IAC 99	$Y=511,425-176,150**X$	$R^2=0,955$	IAC 99	$Y=28,750+58,751^{ns}X-113,002^{ns}X^2+49,001^0X^3$	$R^2=1,00$
IAC 15	$Y=502,650-116,200**X$	$R^2=0,777$	IAC 15	$Y = ? = 31,75$	
Catimor	$Y=453,050-123,400**X$	$R^2=0,906$	Catimor	$Y=32,250-72,836^{ns}X+193,005*X^2-98,669*X^3$	$R^2=1,00$
IAC 4045	$Y=464,012-257,725*X+128,250^0X^2$	$R^2=0,998$	IAC 4045	$Y = ? = 34,50$	



IAC 99	$Y=10,414-6,992*X^{1/2}+6,447^{ns}X$	$R^2=0,665$
IAC 15	$Y=10,888-4,475^{ns}X+2,750^0X^2$	$R^2=0,405$
Catimor	$Y=6,150+9,050^0X$	$R^2=0,710$
IAC 4045	$Y=9,569+7,662^0X^{1/2}+5,079^{ns}X$	$R^2=0,790$

FIGURA 4 – Teores foliares de Mn, Zn e Cu (mg/kg) em quatro cultivares de cafeeiros avaliado aos 15 meses após a implantação do experimento em função da aplicação de calcário ao solo.

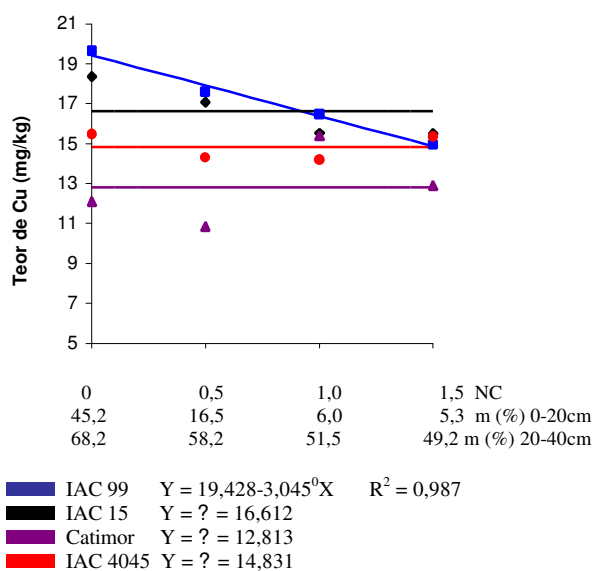
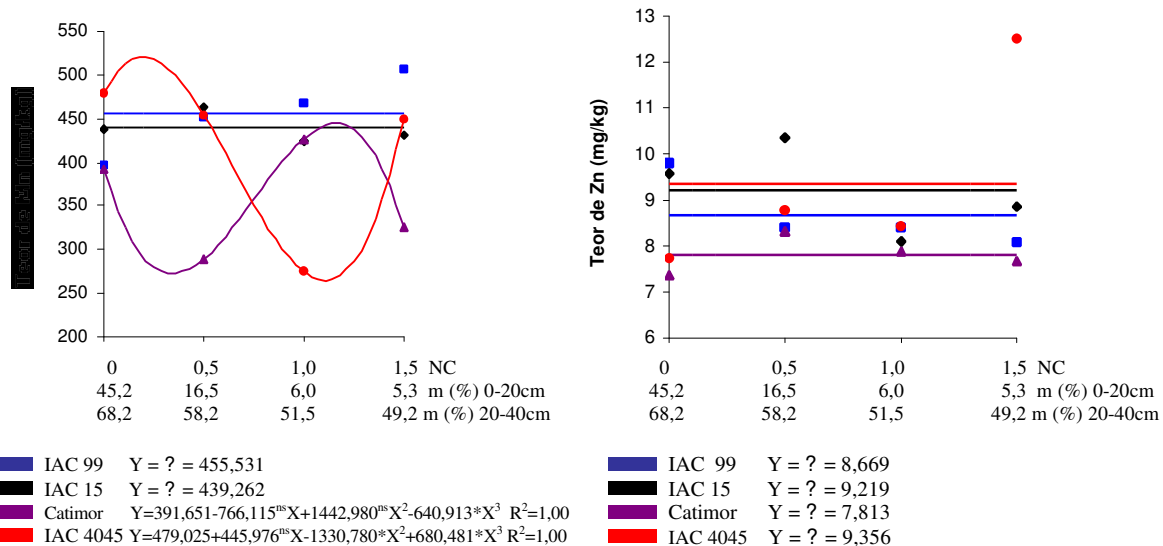


FIGURA 5 - Teores de Mn, Zn e Cu (mg/Kg) de quatro variedades de cafeeiros avaliado aos 34 meses após a instalação do experimento em função da aplicação de calcário ao solo.

4.3. Avaliação do sistema radicular aos 17 meses após o plantio

4.3.1. Produção de matéria fresca de raiz e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm

A produção de matéria fresca de raízes (g/planta) e sua distribuição percentual, aos 17 meses após o plantio não variaram com as doses de calcário empregadas. A matéria fresca total de raízes na camada de 0-40 cm de solo das variedades Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 99, Icatu (IAC 4045) e Catimor (232T15-PN) foram respectivamente 1.885,49, 1.543,75, 1.429,19 e 1.176,48 g/planta, das quais 70,77%, 71,85%, 73,47% e 70,34% encontravam-se na camada de 0-20cm de profundidade, respectivamente para as mesmas variedades.

Normalmente, nos experimentos são determinados os pesos de matéria seca de raízes. Neste trabalho, a dificuldade de tal avaliação foi devida ao pequeno volume de solo amostrado pelo trado (18,5 cm³) e conseqüentemente de raízes. Caso fosse utilizada uma parte das raízes para a determinação do peso de matéria seca e outra parte para a determinação da área superficial, poder-se-ia aumentar o erro experimental, prejudicando a avaliação.

4.3.2. Comprimento radicular e sua distribuição percentual nas camadas do solo de 0-20 e 20-40cm.

O comprimento radicular é uma característica muito utilizada para diferenciar comportamento de plantas tolerantes e sensíveis ao Al, pois em condições de elevados teores do elemento, as raízes tendem a ficar curtas e grossas, reduzindo a absorção de água e nutrientes do solo.

O comprimento de raízes (m/planta) da variedade com tolerância intermediária ao Al, Catuaí Vermelho IAC 99, apresentou incrementos com a calagem apenas na camada inferior do solo. O incremento ocorreu até a dose de calcário de 0,42 NC, com decréscimo à seguir. Neste ponto de máximo, a saturação por Al no solo era de 59,4% (Fig. 6). Na maior dose de calcário, observaram decréscimos no comprimento das raízes, semelhantemente ao que ocorreu no desenvolvimento da parte aérea e inversamente à concentração foliar de P. É coerente afirmar que em condições de máximo crescimento, possa haver diluição na concentração de P (Figuras 1, 2 e 6).

Para a variedade Catimor (232T15-PN), houve resposta à aplicação de calcário apenas no comprimento total das raízes (0-40 cm), promovendo incrementos até a dose de calcário de 0,46 NC, com decréscimo posterior (Fig. 6).

Até a dose de calcário de 0,39 NC, houve incremento no comprimento de raízes da variedade Icatu (IAC 4045) na camada superior do solo, decrescendo à seguir (Fig. 6). É importante observar que a dose de calcário que promoveu o máximo comprimento das raízes é bastante próxima à que promoveu a maior concentração de Cu nas folhas, avaliadas aos 15 meses após o plantio.

Os pontos de máximo e mínimo bem como os acréscimos e reduções proporcionados por eles, em relação à ausência de calagem 0,0 NC, e as doses de calcário que proporcionaram os maiores e menores comprimentos estimados de raízes são mostrados no quadro 9.

Segundo RAIJ (1988), a composição da solução do solo é a principal responsável pela nutrição vegetal e uma calagem excessiva pode influenciar a relação entre os cátions trocáveis e os cátions da solução do solo.

Quanto à distribuição percentual do comprimento das raízes, observou-se na variedade Icatu (IAC 4045), aumento no percentual de comprimento de raízes alocadas na camada superior do solo até a dose de 0,64 NC, decrescendo posteriormente, enquanto na camada inferior, o maior percentual de comprimento (45,0%) foi obtido na ausência de calagem, mostrando maior tolerância deste cultivar ao Al. Para as demais variedades, não houve resposta à calagem na alocação percentual do comprimento das raízes no perfil do solo (Fig. 6).

RAMOS et al. (1982) trabalhando com as variedades Catuaí, Arábica, Guarani e Icatu em condições de viveiro, observaram aos 22 meses após a semeadura, que a relação entre o peso de matéria seca das raízes laterais e da parte aérea da variedade Catuaí foi semelhante ao do Guarani e superior às demais variedades, e que a variedade Catuaí tem maior proporção de raízes laterais que a variedade Icatu. Os mesmos autores acreditam que a maior relação raiz/parte aérea possa ser um fator que favoreça em caso de deficiência hídrica.

Quadro 9 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o comprimento de raízes (m/planta)

Variedades	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Superior	---	---	---	---	---	---
	Inferior	0,42	---	149,6	---	0,42	0,0
	Total	---	---	---	---	---	---
Catimor	Superior	---	---	---	---	---	---
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	0,46	---	57,3	---	0,46	0,0
IAC 4045	Superior	0,39	---	133,7	---	0,39	0,0
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	---	---	---	---	---	---

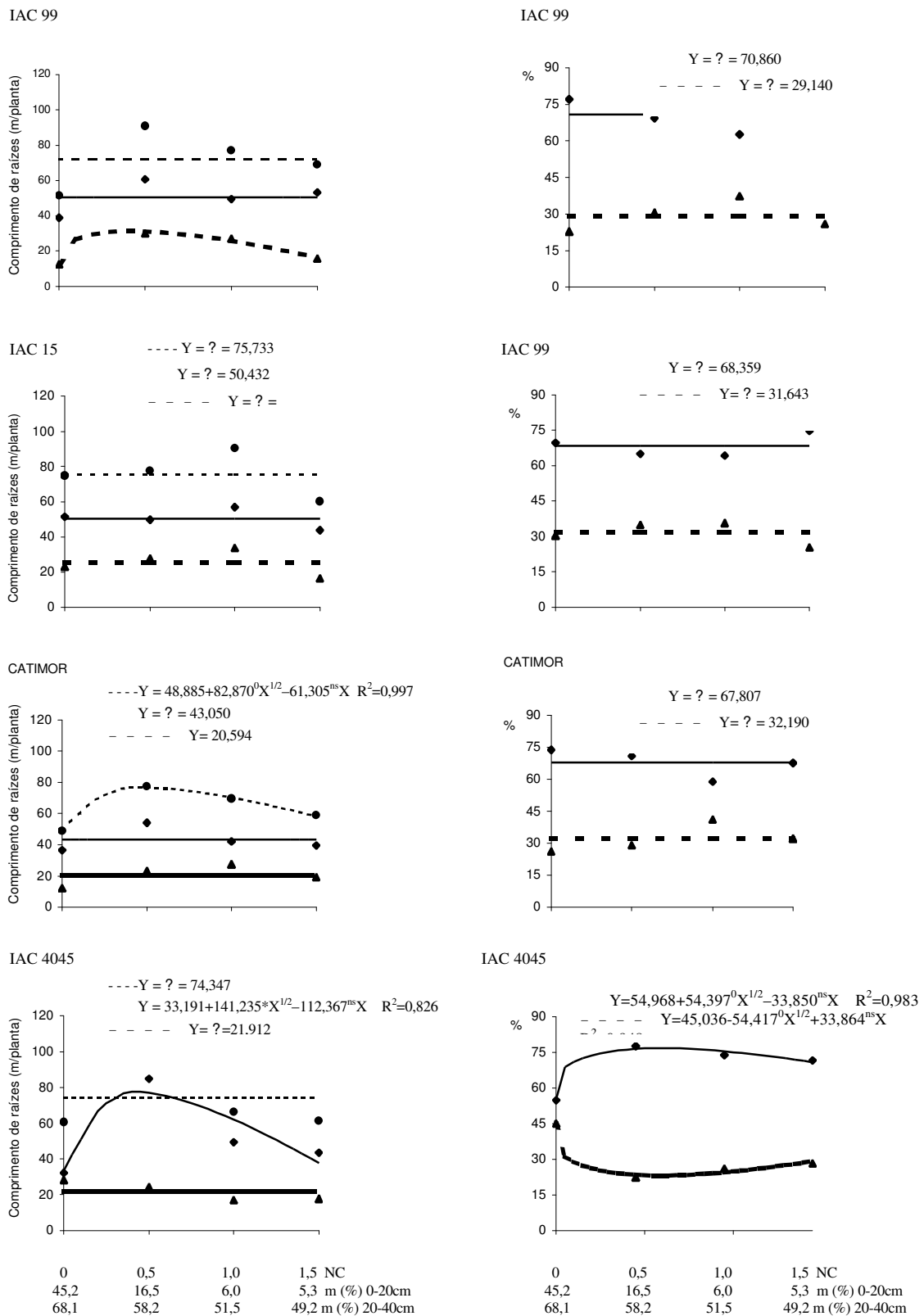


FIGURA 6 - Comprimento radicular na camada de 0-20 cm (—●—), 20-40 cm (- - - -) e nas duas camadas simultaneamente 0-40 cm (- - - -) das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) aos 17 meses após o replantio em função da aplicação de calcário.

4.3.3. Superfície radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm

A superfície de raízes ($\text{dm}^2/\text{planta}$) respondeu à aplicação de calcário somente para a variedade Catimor (232T15-PN) e na camada superior do solo. Observou-se que a resposta foi cúbica com pontos de máximo e mínimo respectivamente nas doses de 0,39 e 1,22 NC. Nestes pontos, as saturações por alumínio foram respectivamente 22,5 e 3,4%. As variedades Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 99, Icatu (IAC 4045) e Catimor (232T15PN) apresentaram superfícies de raízes médias na camada de 0-40 cm de profundidade respectivamente de 120,83, 106,64, 99,61 e 87,62 $\text{dm}^2/\text{planta}$, das quais 69,7%, 71,1%, 71,9% e 68,7% encontravam-se na camada de 0-20 cm de profundidade.

RODRIGUES (1997) trabalhando com as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) em colunas de solo, não encontrou alteração na superfície total das raízes quando reduziu os níveis de saturação por Al em subsuperfície (12-34 cm), com calagem e adubação uniforme na superfície.

4.3.4. Comprimento radicular específico e superfície radicular específica

Os maiores valores de comprimento e superfície radiculares específicos indicam maior proporção de raízes finas e alongadas.

Em geral, até os 17 meses após o plantio, essas características não foram afetadas pelas doses de calcário aplicadas ao solo. Somente a variedade Icatu (IAC 4045) apresentou incrementos contínuos, e de 38,0%, na superfície específica de raízes na camada de 0-20 cm de profundidade até a dose de 0,79 NC, indicando um afinamento das raízes dessa camada.

Os valores médios de comprimento específico de raízes considerando a camada de 0-40 cm de profundidade foram 6,86, 6,02, 4,98 e 4,60 cm/g MF respectivamente para as variedades Catimor (232T15-PN), Icatu (IAC 4045), Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15. Quanto à superfície específica de raízes os valores médios na camada de 0-40 cm de profundidade foram de 8,28, 7,67, 7,14 e 6,86 cm^2/g MF respectivamente para as variedades Catimor (232T15-PN), Icatu (IAC 4045), Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15.

4.4. Avaliação do sistema radicular aos 34 meses após o transplântio

4.4.1. Produção de matéria fresca de raiz e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm

A variedade Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou incremento no peso de matéria fresca de raízes na camada superior do solo até a dose de 0,35 NC, onde a saturação por alumínio era de 24,4%, decrescendo à seguir. Para essa mesma variedade a produção total de matéria fresca de raiz (0-40 cm de profundidade) apresentou comportamento semelhante ao da camada superior, apresentando incremento até a dose de 0,33 NC, reduzindo-se à seguir (Fig. 7).

Para a variedade Icatu (IAC 4045), a produção de matéria fresca de raízes na camada superior do solo, apresentou resposta cúbica, com pontos de mínimo e máximo respectivamente nas doses 0,32 e 1,12 NC, que relacionavam-se a 25,9 e 3,7% de saturações por alumínio. É importante observar que o menor peso de matéria fresca de raízes coincide com o menor desenvolvimento da parte aérea, representada pela altura, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios. O inverso também ocorre, onde há máxima produção de raízes, coincide com o melhor desenvolvimento da parte aérea. (Figuras 7 e 1). Para as demais variedades não foi possível obter um modelo de regressão com bom ajuste aos dados obtidos (Fig. 7).

Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o peso de matéria fresca de raízes estão no quadro 10.

A distribuição percentual de matéria fresca de raízes da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou resposta quadrática à aplicação de calcário, com ponto de máximo na dose de 0,74 NC, que relacionou-se a saturação por alumínio de 9,8% na camada superior do solo. Neste ponto, 71,0% do peso de matéria fresca de raízes encontrava-se nesta camada. Concomitantemente, na camada inferior do solo, houve redução do percentual de raízes até a mesma dose de calcário, porém com uma saturação por alumínio de 54,5%. É possível que o incremento da dose de calcário acima de 0,74 NC na camada superior tenha restringido o percentual de alocação de raízes nessa camada por restrição na absorção de micronutrientes, ao mesmo tempo em que na camada de 20-40 cm do solo e nas maiores doses de calcário tenha ocorrido maior descida de Ca e Mg no perfil, permitindo maior alocação de raízes nesta camada (Fig. 7).

As demais variedades não tiveram a distribuição percentual do peso de matéria fresca de raízes influenciadas pela calagem (Fig. 7).

RODRIGUES et al. (2001) trabalhando com as variedades de café Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) em colunas de solo às quais adicionaram-se doses crescentes de calcário na camada sub-superficial de 12-34 cm de profundidade, não obtiveram variação na produção de matéria seca de raízes com os tratamentos empregados. Entretanto, foram observadas variações no comprimento e superfície radiculares, que indicaram maior sensibilidade ao Al da variedade Catuaí Vermelho IAC 99.

Quadro 10 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o peso de matéria fresca de raízes (g/planta)

Variedades	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín. (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose par menor valor estimado
IAC 99	Superior	0,35	---	83,9	---	0,35	1,5
	Inferior	---	---	----	---	----	---
	Total	0,33	---	60,2	--	0,33	1,5
IAC 4045	Superior	1,12	0,32	21,1	29,9	1,12	0,32
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	---	---	---	---	---	---

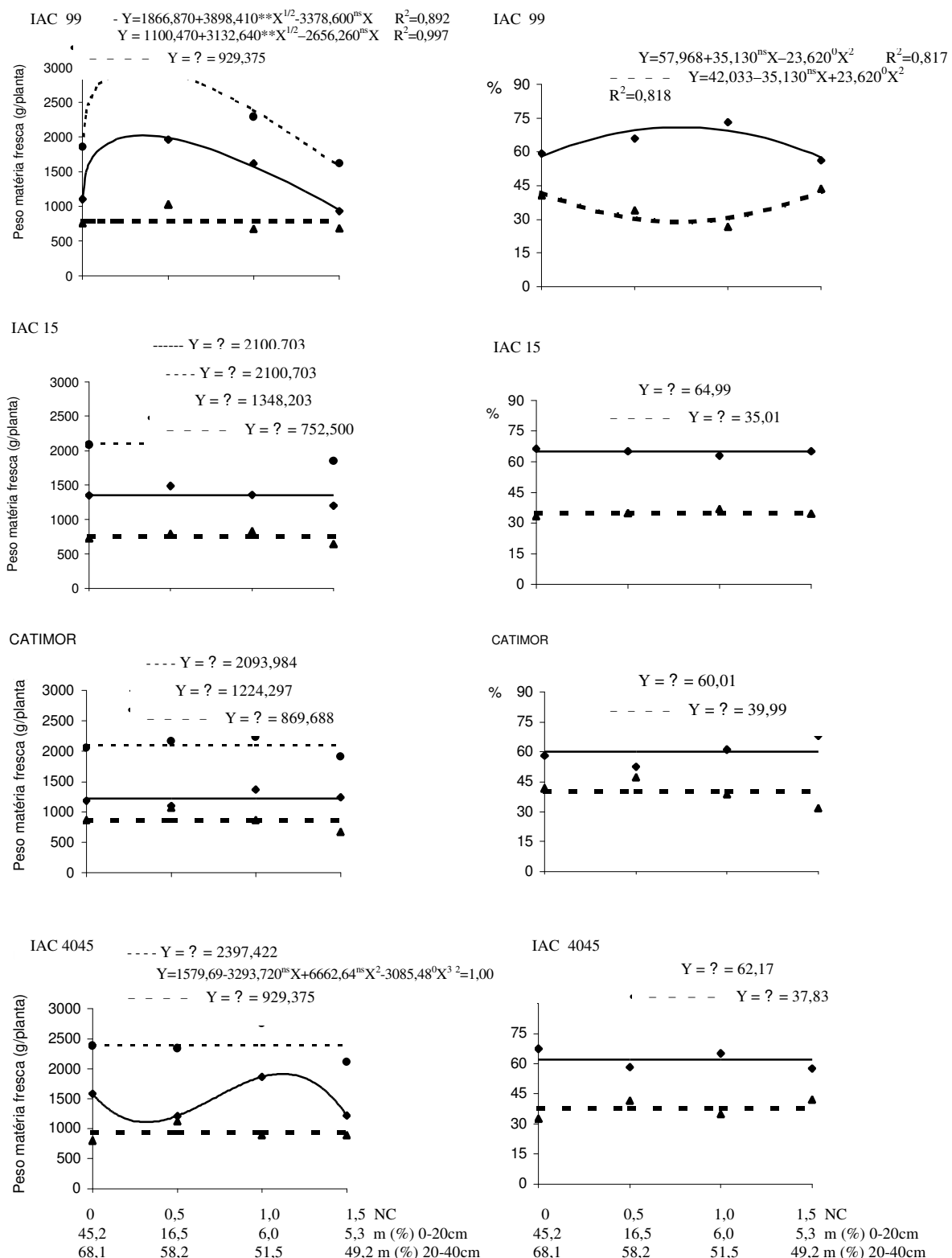


FIGURA 7: Peso de matéria fresca de raízes nas camadas de 0-20 cm (—), 20-40 cm (- -) e nas duas camadas simultaneamente 0-40 cm (- - - -) e a distribuição percentual nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) aos 34 meses após o plantio em função da aplicação de calcário.

4.4.2. Comprimento radicular e sua distribuição percentual nas camadas de 0-20 e 20-40 cm

O comprimento das raízes (m/planta) da var. Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou incrementos com a calagem em ambas as camadas de solo consideradas. Na camada de 0-20 cm, o incremento ocorreu até a dose de 0,35 NC, com o solo apresentando saturação por alumínio de 24,4%. Considerando-se a camada de 0-40 cm, observa-se comportamento semelhante ao ocorrido na camada superior com incremento até a dose de calcário de 0,34 NC, com posterior redução. Na camada de 20-40 cm, o comprimento de raízes apresentou resposta cúbica, com pontos de máximo e mínimo respectivamente nas doses de calcário de 0,36 e 1,22 NC (Fig. 8). Nestes pontos, as saturações por Al foram respectivamente 60,5 e 50,1%.

Assim como na produção de matéria fresca de raízes, nas maiores doses de calcário aplicadas, houve decréscimos no comprimento de raízes na var. Catuaí Vermelho IAC 99, comparado à dose 0,0 NC. BRACCINI (2000) trabalhando com as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 (tolerância intermediária ao Al), Catuaí 45 e Icatu (IAC 4045) (tolerantes ao Al), observou que o uso de calagem uniforme de 0-34 cm em colunas de solo promoveu o decréscimo da produção de matéria seca de raízes e da parte aérea para as 3 variedades testadas, e que esse decréscimo relacionou-se à carência de micronutrientes, especialmente Cu e Zn.

Em algodoeiros, ROSOLEM et al. (2000) observaram também menor crescimento das raízes quando empregaram calagem para elevar a saturação de bases a 70%. Os autores relacionaram ao fato, uma possível deficiência de Zn.

Para o Catuaí Vermelho IAC 15, na camada inferior do solo, houve incremento no comprimento de raízes até a dose de calcário de 0,82 NC, que correspondeu à saturação por alumínio nesta camada de 53,5% (Fig. 8).

Para a variedade Catimor (232T15-PN), observa-se que em ambas as camadas de solo houve respostas à aplicação de calcário. Na camada superior, o incremento ocorreu até a dose de 0,84 NC, ponto onde a saturação por alumínio do solo era de 7,4%. Na camada inferior, o incremento ocorreu até a dose de calcário de 0,79 NC, ponto a saturação por alumínio foi de 53,9%. Analisando as duas camadas conjuntamente, observou-se que o comprimento total de raízes apresentou um incremento até a dose de calcário de 0,82NC, decrescendo posteriormente. Entretanto, o menor comprimento de raízes desta variedade foram obtidos na ausência da calagem, confirmando assim, sua maior sensibilidade ao Al

(Fig. 8). Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o comprimento de raízes estão no quadro 11.

O comprimento de raízes da variedade Icatu (IAC 4045), não apresentou respostas aos níveis de calagem empregados, entretanto, sua distribuição percentual apresentou um comportamento cúbico. Na camada superior do solo, o menor percentual de comprimento de raízes ocorreu na dose de calcário de 0,33 NC e o maior percentual ocorreu na dose de calcário de 1,15 NC, pontos onde a saturação por alumínio foram respectivamente 25,4 e 3,6% (Fig. 8). Para as demais variedades, a distribuição percentual do comprimento das raízes não mostrou-se influenciada pela calagem (Fig. 8), porém em todas elas, o maior percentual do comprimento das raízes encontravam-se na camada superior do solo, semelhante ao citado por RENA e GUIMARÃES (2000).

Quadro 11 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o comprimento de raízes (m/planta)

Variedades	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín. (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Superior	0,35	---	70,3	---	0,35	1,5
	Inferior	0,36	1,22	70,9	31,8	0,36	1,22
	Total	0,34	---	59,8	---	0,34	1,5
IAC 15	Superior	---	---	---	---	---	---
	Inferior	0,82	---	82,3	---	0,82	0,0
	Total	---	---	---	---	---	---
Catimor	Superior	0,84	---	147,1	---	0,84	0,0
	Inferior	0,79	---	181,1	---	0,79	0,0
	Total	0,82	---	147,0	---	0,82	0,0

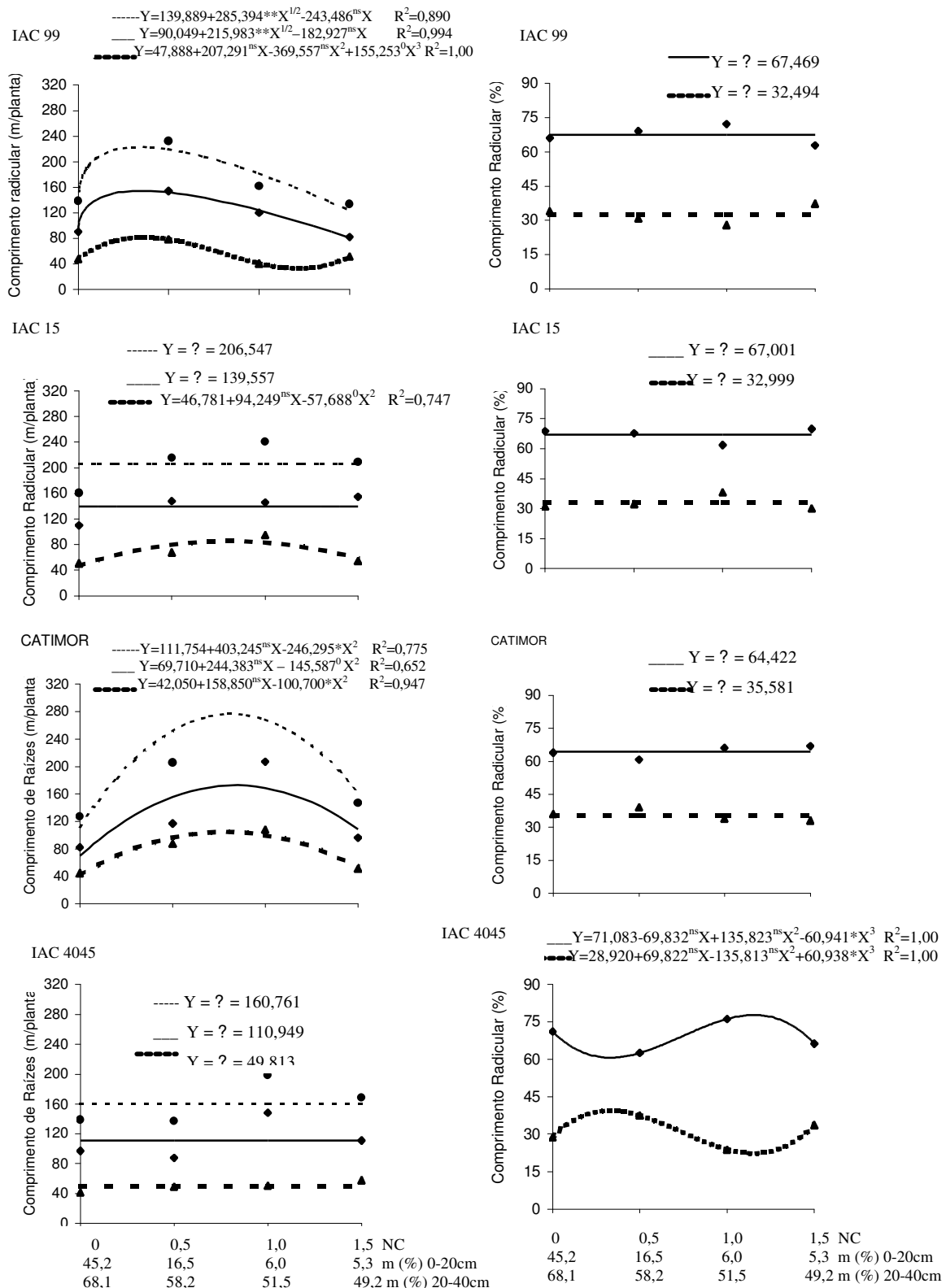


FIGURA 8 - Comprimento radicular na camada de 0-20 cm (___), 20-40 cm (---) e nas duas camadas simultaneamente (- - - -) das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) aos 34 meses após o plantio em função da aplicação de calcário.

4.4.3. Superfície radicular e sua distribuição percentual nas camadas de solo de 0-20 e 20-40 cm

A superfície radicular ($\text{dm}^2/\text{planta}$) mostrou padrão de comportamento semelhante ao apresentado pelo comprimento radicular.

Para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 a superfície de raízes apresentou incrementos na camada superior e simultaneamente nas duas camadas até a dose de calcário de 0,34 NC, ponto onde a saturação por Al era de 24,9%. Na camada inferior do solo, a resposta à aplicação de calcário foi cúbica, com pontos de máximo e mínimo respectivamente nas doses de 0,36 e 1,23 NC. Nestes pontos, as saturações por Al foram respectivamente 60,5 e 50,0%. É importante mencionar que as doses que proporcionaram as máximas superfícies de raízes nas camadas superior e inferior foram muito próximas. Na máxima dose de calcário aplicada, a superfície total de raízes (0-40 cm), sofreu redução em relação à dose 0,0 NC, semelhante ao ocorrido para o comprimento total de raízes (Fig. 9).

É importante mencionar, que para a var. Catuaí Vermelho IAC 99, o peso de matéria fresca, o comprimento e a superfície de raízes, apresentaram comportamentos semelhantes com a aplicação de calcário ao solo, além dos pontos de máximo serem muito próximos entre si. Estas características associaram-se com o desenvolvimento da parte aérea avaliada aos 23 meses após a instalação do experimento, para os quais o desenvolvimento em altura e o número de ramos plagiotrópicos aumentaram com pequenas doses de calcário, o que ocorreu próximo aos pontos de máximo desenvolvimento das raízes. Já nas maiores doses de calcário, ocorreram reduções nas características avaliadas.

A variedade Catimor (232T15-PN), apresentou incremento na superfície de raízes da camada inferior do solo até a dose de 0,74 NC, enquanto para a superfície total de raízes (0-40 cm), o incremento ocorreu até a dose de 0,80 NC, decrescendo à seguir. A maior sensibilidade da variedade Catimor (232T15-PN), em relação à Catuaí Vermelho IAC 99, pode ser observada por sua menor superfície de raízes na dose 0,0 NC, enquanto para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99, esta ocorreu na dose de 1,5 NC. Em relação à dose 0,0 NC, a variedade Catimor (232T15-PN), apresentou na máxima dose de calcário aplicada, um incremento de 12,9%, enquanto para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99, houve uma redução nas mesmas condições de 14,2% (Fig. 9).

Parece haver uma relação direta entre o teor de Ca nos tecidos com o desenvolvimento das raízes da variedade Catimor (232T15-PN). As doses de calcário que

proporcionaram os maiores comprimentos e superfícies totais de raízes, foram muito próximas à que proporcionou a maior concentração foliar de Ca (Figuras 3, 8 e 9).

A superfície de raízes da variedade Catuaí Vermelho IAC 15 não apresentou resposta aos níveis de calagem empregados, enquanto para a variedade Icatu (IAC 4045), houve respostas à aplicação de calcário apenas na camada superior do solo. Apesar da resposta cúbica, observou-se que semelhantemente ao ocorrido para o peso de matéria fresca de raízes, a menor superfície de raízes ocorreu na dose de 0,28 NC (ponto de mínimo) e muito próximo ao valor encontrado para o peso de matéria fresca que foi de 0,32 NC.

Os menores desenvolvimentos da parte aérea, representado pela altura, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios da variedade Icatu (IAC 4045), ocorreram entre as doses de 0,29 a 0,37 NC, ou seja, bastante próximo aos valores encontrados para a superfície e o peso de matéria fresca de raízes. Isso mostra que houve uma relação direta do desenvolvimento das raízes e da parte aérea. No entanto, é possível que o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente da parte aérea, tenham sido influenciados pelo elevado teor de Mn no solo, cuja concentração nos tecidos chegaram a 520 mg/kg na dose de calcário de 0,20 NC. Segundo MALAVOLTA et al. (1997), MENEZES (2001) estas concentrações nos tecidos encontram-se acima dos níveis adequados para plantas adultas. Já os maiores desenvolvimentos das raízes e parte aérea ocorreram entre as doses de calcário de 1,06 a 1,12, coincidindo com a redução dos teores de Mn nos tecidos, observado pela menor concentração obtida na dose de calcário de 1,11 NC e portanto coincidindo com o ótimo crescimento das raízes e parte aérea para essa variedade (Figuras 1, 5 e 9).

Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para a superfície de raízes estão no quadro 12.

Os pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC são mostrados no quadro 12.

Quanto à distribuição percentual da superfície de raízes nas camadas superior e inferior do solo, observou-se que a variedade Icatu (IAC 4045) apresentou respostas à aplicação de calcário, semelhante ao ocorrido para o percentual do comprimento de raízes. Na dose de calcário de 0,35 NC, 41,4% da superfície de raízes encontrava-se na camada inferior do solo e 58,6% na camada superior do solo, coincidindo com o menor desenvolvimento da parte aérea.

As demais variedades não apresentaram relações entre a calagem e a distribuição percentual da superfície de raízes, entretanto, em todas elas, o maior percentual da superfície de raízes encontrou-se na camada superior do solo (Fig. 9).

RODRIGUES (1997) trabalhando com as variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) em colunas de solo com adição de doses crescentes de calcário na camada sub-superficial de 12-34 cm de profundidade, não obteve variação na superfície total de raízes com os tratamentos aplicados.

Quadro 12 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para a superfície de raízes (dm²/planta)

Variedades	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 99	Superior	0,34	---	74,4	---	0,34	1,5
	Inferior	0,36	1,23	59,8	28,2	0,36	1,23
	Total	0,34	---	59,4	---	0,34	1,5
Catimor	Superior	---	---	---	---	---	---
	Inferior	0,74	---	64,9	---	0,74	1,5
	Total	0,80	---	57,5	---	0,80	0,0
IAC 4045	Superior	1,14	0,28	40,3	26,9	1,14	0,28
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	---	---	---	---	---	---

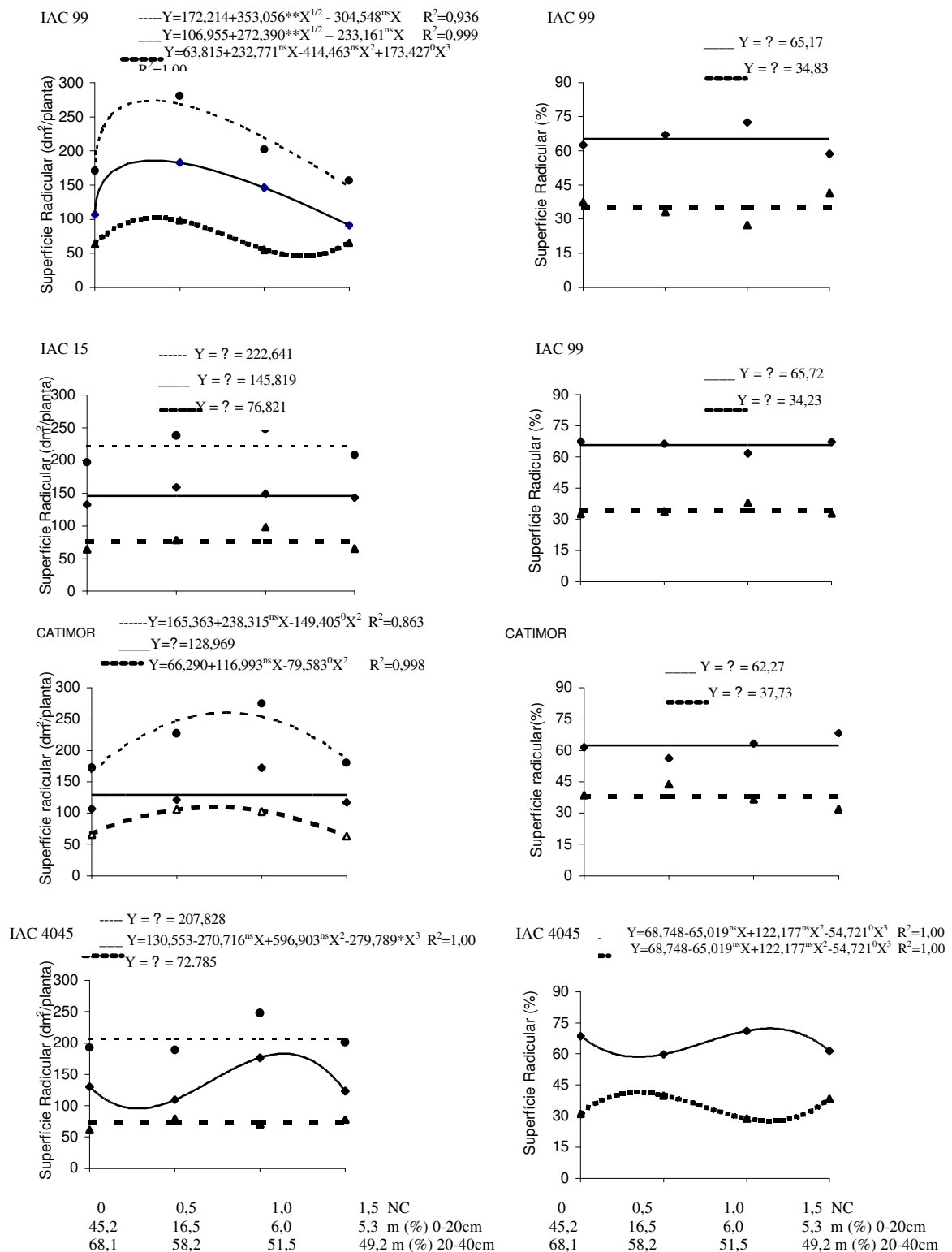


FIGURA 9 - Superfície radicular (dm²/planta) nas camadas de 0-20 cm (___), 20-40 cm (- - - -) e simultaneamente nas duas camadas 0-40 cm (- - - -) e a distribuição percentual nas camadas 0-20 cm (___) e na camada de 20-40 cm (- - - -) das variedades Catuaí 99, Catuaí 15, Catimor e Icatu em função da aplicação de calcário aos 34 meses após o plantio.

4.4.4. Comprimento radicular específico e superfície radicular específica

Visando quantificar o encurtamento e engrossamento das raízes, analisaram-se os valores relativos de comprimento de raízes/matéria fresca de raízes e superfície de raízes/matéria fresca de raízes. Quanto ao comprimento radicular específico apenas o Catuaí Vermelho IAC 15 mostrou resposta aos níveis de calagem empregados. Foram observados incrementos na camada superior do solo e simultaneamente nas duas camadas (0-40 cm). As demais variedades não mostraram respostas à aplicação de calcário (Fig. 10).

RODRIGUES (1997) observou que o comprimento total de raízes/ matéria seca de raízes da variedade Icatu (IAC 4045) não apresentou relação com a aplicação de calcário subsuperficialmente, enquanto para a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 a relação foi linear.

Quanto à superfície específica, ocorreram respostas as variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Catimor (232T15-PN). A Catuaí Vermelho IAC 15 apresentou incrementos lineares nas camadas superior e simultaneamente nas duas camadas (0-40 cm), indicando que na presença de calcário, as raízes tendem a ficar mais finas e compridas, enquanto a Catimor (232T15-PN) apresentou incrementos em ambas as camadas de solo. Na camada superior de solo, o incremento ocorreu até a dose de calcário de 0,80 NC, a qual relacionou-se a uma saturação por alumínio no solo de 8,3%; na camada inferior o incremento ocorreu até a dose de 0,84 NC, que relacionou-se à saturação por alumínio de 53,3% e no perfil de solo de 0-40 cm o incremento ocorreu até a dose de calcário de 0,84 NC, mostrando que as raízes ficam mais finas em presença de calcário.

Para a variedade Catimor (232T15-PN), a superfície radicular específica apresentou aumentos até o ponto de máximo, à partir do qual outros fatores que não o Al contribuíram para o engrossamento das raízes. Evidencia-se neste caso que esta variedade requer limites mais estreitos de calagem para apresentar desenvolvimento ótimo do sistema radicular (Fig. 10). Os acréscimos e reduções ocorridos nos pontos de máximo e mínimo bem como as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o comprimento e superfície radiculares específicos são mostrados nos quadros 13 e 14.

A superfície específica de raízes das variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Icatu (IAC 4045) não apresentaram respostas à aplicação de calcário (Fig. 10).

RODRIGUES (1997) relata comportamento semelhante para a variedade Icatu (IAC 4045) cultivada em colunas de solo, enquanto a variedade Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou aumento linear no comprimento total de raiz/ matéria seca total de raízes, quando submetidas à doses de calcário na camada subsuperficial do solo.

A pequena resposta das características avaliadas à aplicação de calcário aos 17 meses após instalado o experimento, pode ser devida ao fato deste ter sido freqüentemente irrigado, o que poderia promover uma melhor condição para o desenvolvimento das raízes e concomitantemente à maior absorção de nutrientes pela planta.

Quadro 13 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para o comprimento específico de raízes (cm/grama matéria fresca)

Variedade	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 15	Superior	---	---	54,5	---	1,5	0,0
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	---	---	45,0	---	1,5	0,0

Quadro 14 - Pontos de máximo e mínimo e seus respectivos acréscimos e reduções em relação à dose 0,0 NC e as doses de calcário que proporcionam os maiores e menores valores estimados para a superfície específica de raízes (cm²/ grama de matéria fresca de raízes)

Variedades	Camadas	P. Max (NC)	P. Mín (NC)	Acrésc. (%)	Redução (%)	Dose para maior valor estimado	Dose para menor valor estimado
IAC 15	Superior	---	---	20,7	---	1,5	0,0
	Inferior	---	---	---	---	---	---
	Total	---	---	19,0	---	1,5	0,0
Catimor	Superior	0,80	---	51,7	---	0,80	0,0
	Inferior	0,84	---	50,2	---	0,84	0,0
	Total	0,84	---	53,1	---	0,84	0,0

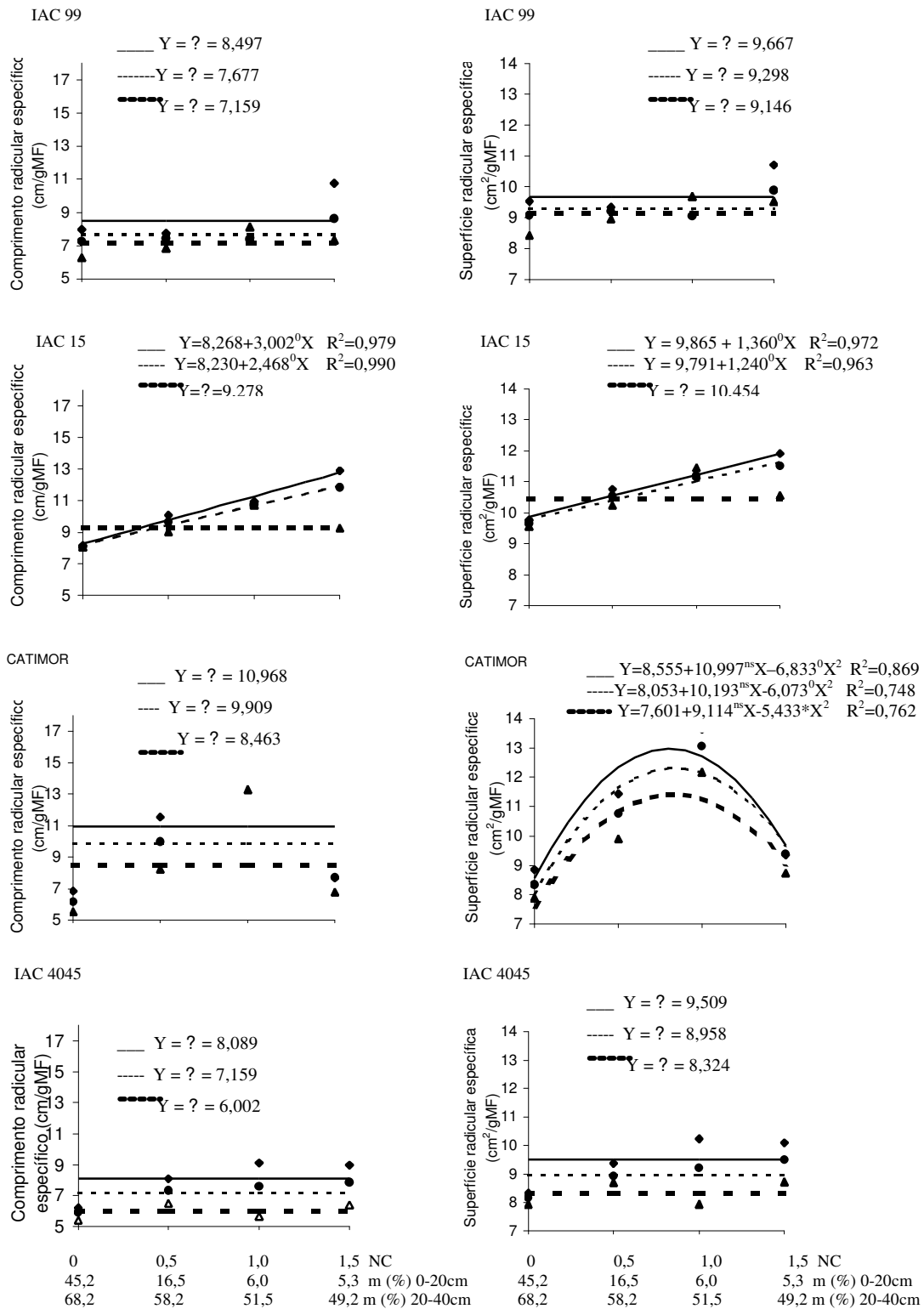


FIGURA 10 – Comprimento radicular específico (cm/g MF) e superfície radicular específica (cm²/gMF) nas camadas de 0-20 cm (___), 20-40 cm (-----) e simultaneamente nas duas camadas 0-40 cm (-----) das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Catimor (232T15-PN) e Icatu (IAC 4045) aos 34 meses após a implantação do experimento, em função da aplicação de calcário.

4.5. Efeito da calagem nas características químicas do solo

Houve efeito da calagem (CAL) na movimentação dos íons no perfil do solo e nas concentrações dos nutrientes. Contudo, não houve efeito significativo para VAR nem para a interação VAR X ÉPOCA e devido ao fato não se discutirá separadamente por variedade. O Quadro 15 apresenta a comparação das variáveis analisadas aos 2 e 17 meses após a calagem, enquanto os quadros 16,17 e 18 mostram os teores de nutrientes nas avaliações realizadas aos 2, 17 e 29 meses respectivamente.

4.5.1. Valores de pH no perfil do solo

Observou-se efeito significativo de CAL e de ÉPOCA para os valores de pH na camada de 0-20 cm de profundidade e efeito de CAL, ÉPOCA e CAL X ÉPOCA para os valores de pH na camada de 20-40 cm. Aos 17 meses após a calagem, o valor de pH foi superior ao de 2 meses após a calagem, na camada de 0-20 cm, enquanto na camada de 20-40 cm diferença não foi observada (Quadros 15, 16 e 17). Este fato está relacionado à maior reação do calcário com o solo com o tempo.

Quando relacionou-se com a calagem, o pH aumentou nas duas camadas de solo analisadas. Na camada superior, o pH aumentou linearmente com o calcário aplicado nas duas épocas amostradas, enquanto na camada de 20-40cm, o comportamento foi quadrático aos 2 meses, com o ponto de máximo na dose de 1,38 NC, e linear aos 17 meses após a aplicação do calcário (Figura 11).

Na avaliação realizada 8 meses após a nova aplicação de calcário, ou seja, aos 29 meses após a implantação do experimento, o efeito de variedade não foi observado, analisando-se o efeito da calagem separadamente. Os valores de pH aumentaram linearmente com a aplicação de calcário em ambas profundidades (Quadro 18). Estes aumentos foram de 22,2 % na camada superior e 12,7% na camada inferior (Fig. 13). A ação da calagem promovendo aumentos no pH é bem conhecida e as menores magnitudes de aumento na camada inferior, se devem à pequena lixiviação de cátions para essa região (MORAES, 1988).

4.5.2. Teores de Cálcio e Magnésio no perfil do solo

Os teores de Ca, de Mg e de Ca+Mg foram influenciados por CAL, ÉPOCA e CAL X ÉPOCA. Os teores destes elementos aos dois meses após a calagem foram superiores à concentração aos 17 meses e em ambas as profundidades (Quadros 15, 16 e 17). Dois meses após a calagem inicial, as concentrações de Ca, de Mg e Ca+Mg, na camada superior do solo, apresentaram comportamentos quadráticos com a elevação dos níveis de calagem. As maiores concentrações de Ca e Ca+Mg foram obtidas na máxima dose de calcário aplicada, enquanto o Mg apresentou a máxima concentração na dose estimada de 1,31 NC. Já aos 17 meses após a calagem, na mesma camada, as concentrações dos elementos tiveram aumentos lineares com a aplicação de calcário (Fig. 11).

È importante mencionar a menor magnitude de aumento na concentração dos elementos aos 17 meses após a aplicação do calcário, principalmente na camada superior do solo. O fato é devido à maior absorção pelas plantas nesse período, comprovado pelo aumento nos teores de Ca e Mg nos tecidos foliares aos 15 meses.

Houve aumento linear nas concentrações de Ca, Mg e Ca+Mg na camada inferior do solo, aos dois meses após a calagem, mostrando o processo de lixiviação (Quadro 16). Já aos 17 meses, não observou-se alteração na concentração dos nutrientes na camada inferior (Quadro 17). É possível que as raízes tenham alcançado maiores profundidades e absorvido os nutrientes, apesar da baixa concentração de nutrientes na camada inferior, alterando desta forma a concentração dos elementos.

CAMARGO et al. (1997) mostram o efeito da calagem na alteração dos teores de cátions trocáveis. Os autores observaram aumento nos teores de Ca quando aumentaram as doses de calcário calcítico, e aumento nos teores de Ca+Mg com a utilização de calcário dolomítico.

Aos 29 meses após a calagem inicial e 8 meses após a nova aplicação de calcário, os teores de Ca, Mg e Ca+Mg aumentaram linearmente com a dose de calcário aplicado, em ambas camadas de solo (Quadro 18). Apesar da nova aplicação de calcário ter sido realizada superficialmente, observou-se grande lixiviação de nutrientes para as camadas mais profundas do solo (Fig. 13).

Quadro 15 - Valores médios de pH, Ca, Mg, Ca+Mg, Al, V e m aos 2 meses (E1) e aos 17 meses após o replantio (E2)

Camadas	Épocas	pH (água)	Ca (cmoc/dm ³)	Mg (cmoc/dm ³)	Ca+Mg (cmoc/dm ³)	Al (cmoc/dm ³)	V (%)	m (%)
0-20 cm	E1	5,18 b	2,57 a	0,97 a	3,54 a	0,60 b	43,59 a	17,90 b
	E2	5,34 a	2,09 b	0,75 b	2,84 b	0,77 a	34,73 b	22,58 a
C.V.(%)		3,98	23,57	17,85	21,08	29,62	22,96	29,80
20-40 cm	E1	4,88 a	0,74 a	0,31 a	1,05 a	1,50 b	16,29 a	56,30 b
	E2	4,87 a	0,65 b	0,25 b	0,91 b	1,65 a	14,65 b	60,59 a
C.V.(%)		3,13	26,63	26,71	26,03	13,84	27,69	13,86

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% probabilidade pelo teste TUKEY.

Quadro 16 - Características químicas do solo após dois meses de implantação do experimento

Calagem	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Al -----cmol/dm ³ -----	Ca -----cmol/dm ³ -----	Mg -----cmol/dm ³ -----	P ----mg/dm ³ ----	K ----mg/dm ³ ----	m -----(%)------	H+Al	CTC Efet. Total	
0 NC	0-20	4,72	1,36	5,83	0,95	0,46	110,77	45,22	6,90	8,42	13,96
	20-40	4,63	1,74	1,36	0,49	0,2	48,56	68,11	6,73	3,71	8,70
0,5 NC	0-20	5,10	0,94	5,64	2,16	0,93	110,17	16,52	5,39	8,08	13,47
	20-40	4,88	1,54	0,96	0,66	0,3	51,31	58,16	6,14	3,29	7,89
1,0 NC	0-20	5,39	0,25	6,27	3,47	1,25	91,78	6,01	4,42	10,23	14,39
	20-40	4,99	1,43	1,03	0,88	0,35	47,71	51,51	6,67	3,46	8,70
1,5 NC	0-20	5,47	0,26	6,13	3,60	1,19	91,86	5,27	3,63	10,23	13,59
	20-40	5,01	1,32	1,00	1,20	0,36	42,12	49,23	6,08	3,63	8,38

pH em água – Relação 1:2,5; P – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator KCl 1 mol/L.

Quadro 17 - Características químicas do solo aos dezessete meses de implantação do experimento

Calagem	Prof. (cm)	pH	Al	Ca	Mg	P	K	m	H+Al	CTC	
		H ₂ O	-----cmol _c /dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----	-----(%)------	Efet.
0 NC	0-20	4,89	1,48	1,13	0,42	4,64	83,19	45,56	6,57	3,24	8,33
	20-40	4,83	1,82	0,56	0,22	0,98	47,25	66,00	6,32	2,72	7,22
0,5 NC	0-20	5,20	0,75	1,99	0,78	4,51	95,94	21,46	6,10	3,77	9,87
	20-40	4,98	1,61	0,66	0,27	1,03	53,00	59,32	6,07	2,67	7,13
1,0 NC	0-20	5,54	0,54	2,40	0,87	5,40	79,69	15,14	6,05	4,01	9,52
	20-40	4,87	1,68	0,66	0,25	1,28	48,50	60,99	6,16	2,71	7,19
1,5 NC	0-20	5,78	0,30	3,00	1,18	5,19	87,41	8,18	6,69	4,70	11,09
	20-40	4,96	1,52	0,72	0,28	1,61	49,87	57,36	6,89	2,65	8,02

pH em água – Relação 1:2,5; P – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator KCl 1 mol/L.

Quadro 18 - Características químicas do solo após 29 meses de implantação do experimento

Calagem	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Al	Ca	Mg	P	K	m	H+Al	CTC	
										-----cmol _e /dm ³ -----	-----mg/dm ³ -----
0 NC	0-20	4,19	2,53	0,92	0,37	10,00	79,62	63,04	7,50	4,02	8,99
	20-40	4,17	2,68	0,64	0,26	4,06	55,00	72,46	7,00	3,72	8,04
0,5 NC	0-20	4,52	1,43	1,71	0,71	12,21	92,00	35,16	6,80	4,08	9,46
	20-40	4,32	2,14	0,98	0,39	4,13	60,80	58,12	6,67	3,66	8,19
1,0 NC	0-20	4,73	1,00	2,24	0,89	12,20	63,81	23,69	5,90	4,29	9,19
	20-40	4,41	1,99	1,16	0,48	4,50	52,10	52,92	6,32	3,76	8,09
1,5 NC	0-20	5,13	0,40	2,99	1,14	12,10	78,00	14,87	4,60	4,73	8,93
	20-40	4,73	1,31	1,64	0,66	4,65	56,90	36,19	5,36	3,75	7,81

pH em água – Relação 1:2,5; P – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator KCl 1 mol/L.

CHAVES et al. (1984) observaram aumento gradual do pH, CTC, Ca e Mg trocáveis principalmente na camada de solo de 0-30 cm de profundidade em análise realizada aos 3 meses após a aplicação de calcário superficialmente, em dois tipos de solos do Paraná. Para o Ca, os autores observaram aumentos abaixo da camada de 30 cm de profundidade e acreditaram que o ânion carregador foi suprido pelos fertilizantes nitrogenados e potássicos utilizados.

Para que haja movimentação de bases no solo, é necessário um ânion acompanhante, que pode ser o SO_4^- , que promove uma movimentação lenta através do solo e o NO_3^- ou Cl^- que podem acelerar as perdas de bases (RAIJ, 1998).

CORRÊA (1992) e BOLIVAR (1993) também observaram lixiviações de Ca e Mg conforme aumentaram as doses de calcário aplicadas superficialmente.

4.5.3. Alumínio trocável e saturação por alumínio no perfil do solo

Houve efeitos significativos de CAL e ÉPOCA para a concentração de Al, enquanto para a saturação por alumínio houve efeitos de CAL, ÉPOCA e CAL X ÉPOCA. A concentração de Al trocável e a saturação por Al (m) aos 17 meses após a calagem foram superiores aos valores aos 2 meses, em ambas camadas de solo (Quadro 15).

As concentrações de Al na camada superior do solo, decresceram de forma quadrática, atingindo os pontos de mínimo na dose de 1,29 NC e na máxima dose aplicada, respectivamente aos 2 e 17 meses após a aplicação de calcário. Na primeira época, uma possível causa da concentração de Al não decrescer até a máxima dose de calcário aplicada, pode ser o curto período de tempo entre a aplicação e a amostragem, e possivelmente todo o calcário não tenha reagido com o solo. Já na camada inferior, a concentração de Al decresceu linearmente com a aplicação de calcário (Fig. 12).

A saturação por alumínio apresentou comportamento quadrático semelhante à concentração de Al trocável, na camada superior do solo, porém as menores saturações por Al foram obtidas nas doses estimadas de 1,22 e 1,44 NC, respectivamente aos 2 e 17 meses após a aplicação de calcário. Na camada inferior, observou-se redução linear na saturação por Al com a aplicação de calcário (Fig. 12). A maior redução ocorreu aos dois meses após a calagem, visto que ocorreram neste período as maiores lixiviações de Ca e Mg no perfil do solo.

Segundo CAMARGO et al. (1997), o aumento de pH em resposta à aplicação de calcários calcítico e dolomítico, diminui o teor de Al como consequência da precipitação do Al como Al-OH insolúveis, deixando vagos os sítios de carga que são imediatamente ocupados pelos metais alcalino-terrosos.

Aos 29 meses, observou-se apenas efeito para a calagem. A concentração de Al e a saturação por alumínio decresceram linearmente com a aplicação de calcário tanto na camada superior quanto na camada inferior do solo (Fig. 13). As maiores reduções, entretanto, ocorreram na camada onde houve a incorporação do calcário, ou seja, na camada de 0-20 cm e em todas as épocas de amostragem.

CHAVES et al. (1984) observaram que a aplicação superficial de doses crescentes de calcário, em dois tipos de solos (LRd e LEd) sobre lavouras cafeeiras, promoveram diminuição nos teores de Al e K trocáveis, principalmente na camada superior do solo (0-30 cm).

4.5.4. Saturação por bases

A saturação por bases apresentou efeito significativo para CAL, ÉPOCA e CAL X ÉPOCA, nas avaliações realizadas aos 2 e 17 meses após a calagem.

Observou-se que a saturação por bases aos 2 meses após a calagem inicial foi superior àquela aos 17 meses, tanto na camada superior quanto na camada inferior do solo (Quadro 18).

A saturação por bases na camada superior apresentou aumentos quadráticos com a aplicação de calcário. Estes aumentos foram máximos na máxima dose de calcário e na dose de 1,45 NC, respectivamente para as avaliações aos 2 e 17 meses após a calagem. Já na camada inferior, a saturação por bases aos 2 meses após a calagem apresentou aumento linear com o aumento da calagem e não apresentando diferenças aos 17 meses após a calagem (Fig. 12).

Aos 29 meses, a saturação por bases apresentou aumentos lineares com a aplicação de calcário e em ambas as profundidades (Fig. 13). Os aumentos da saturação por bases nas camadas inferiores, apesar de menor magnitude quando comparados à camada superficial, mostram que ocorreu a descida de cátions no perfil do solo.

ROSOLEM et al. (2000) observaram aumentos nos teores de Ca e Mg na parte aérea de algodoeiros, em resposta ao aumento na saturação por bases, ao mesmo tempo

em que os teores de Mn foram diminuídos. Os autores observaram também que a saturação por bases próximas a 50%, foi a que proporcionou maior produção de matéria seca de raízes de algodoeiros.

A saturação por bases esperada era 70% com uma vez a necessidade de calagem, contudo a máxima saturação alcançada foi de 58,84% na camada de 0-20cm, aos dois meses e na dose de calcário de 1,5 NC. Uma possível razão da saturação por bases não ter atingido 70%, seria alto poder tamponante do solo. Apesar de não ter sido realizada análise física do solo, este apresentava rachaduras entre os ciclos de umedecimento e secagem, característico de solos argilosos.

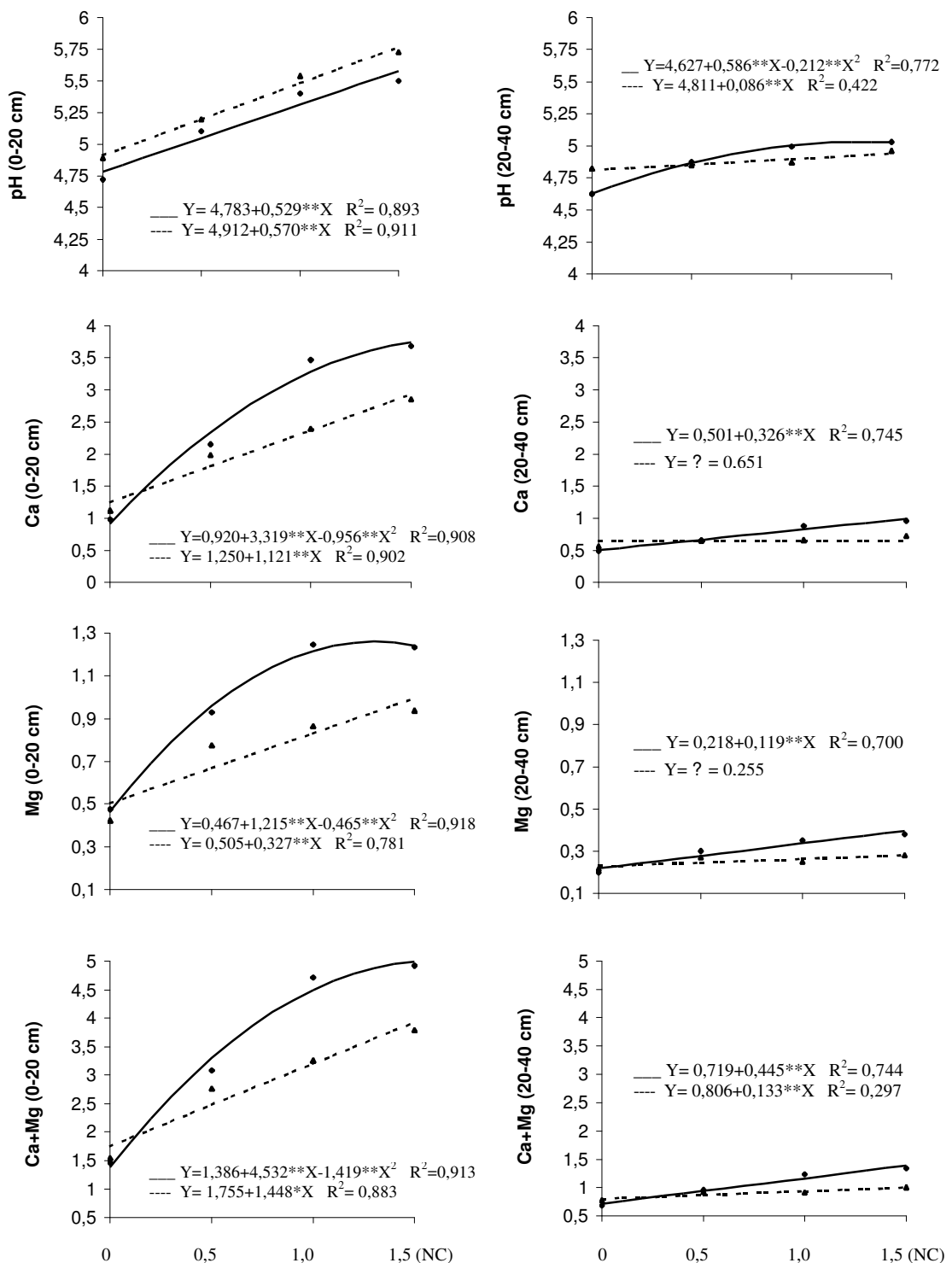


FIGURA 11 - Valores de pH e teores de Ca, Mg, Ca+Mg (cmol/dm³) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm aos 2 meses (—) e 17 meses (----) após a implantação do experimento, em função da aplicação de calcário ao solo.

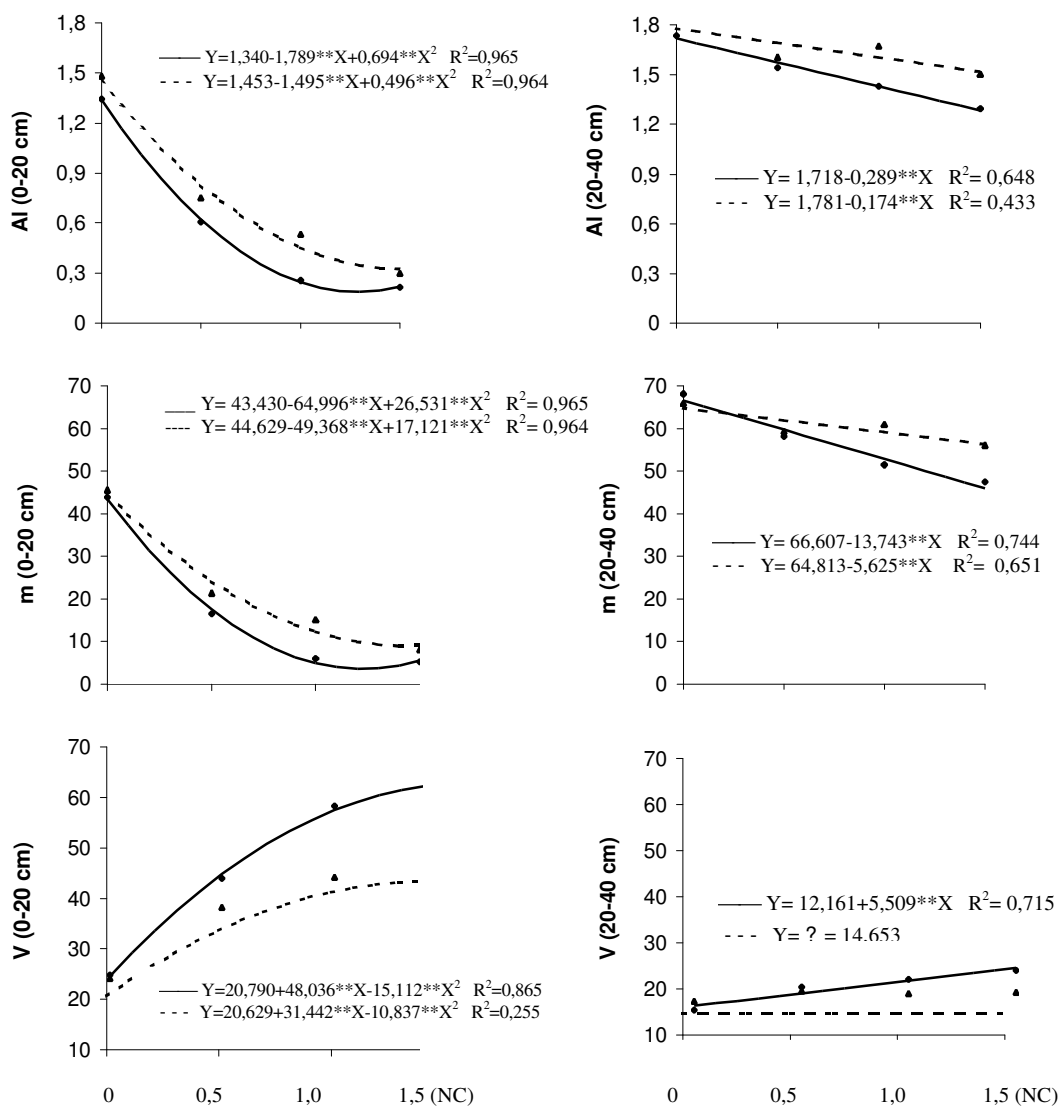


FIGURA 12 - Teores de Al (cmol_c/dm³), m(%) e V(%) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm aos 2 meses (—) e 17 meses (---) após a implantação do experimento, em função da aplicação de calcário ao solo.

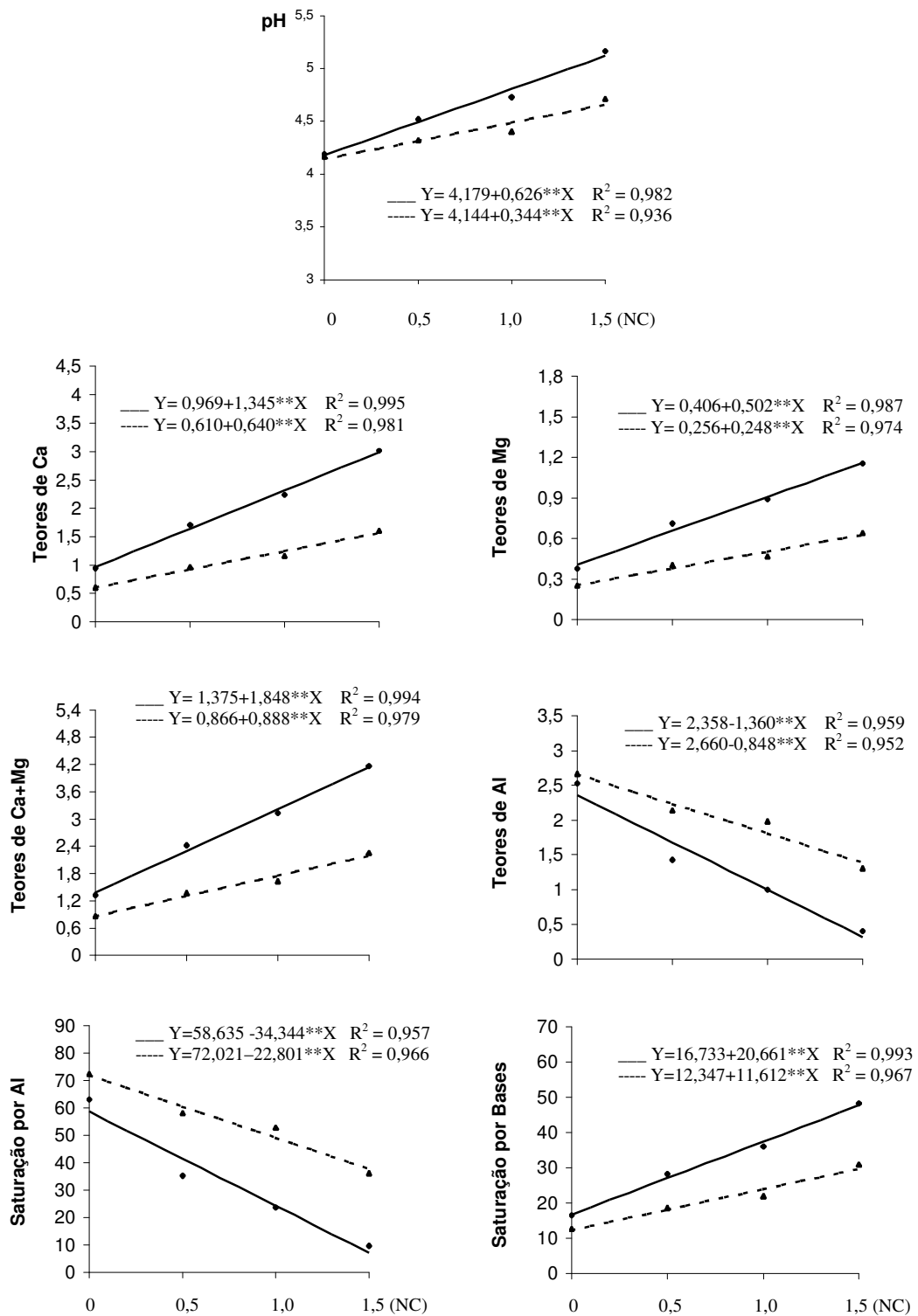


FIGURA 13 - Valores de pH, Ca, Mg, Ca+Mg e Al (cmolc/dm³ solo), saturação por Al (%) e saturação por bases (%) nas camadas de 0-20 cm (—) e de 20-40 cm de solo (---) aos 29 meses após a implantação do experimento, em função da aplicação de calcário ao solo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Conduziu-se um experimento em um LVd com alto teor de Al em uma propriedade particular, no município de Dores do Indaiá-MG, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de quatro variedades de cafeeiros, previamente classificadas como sensíveis e tolerantes ao Al em resposta à aplicação de calcário. Instalou-se o experimento num esquema fatorial 4x4 (níveis de calagem, variedades) em blocos casualizados com 4 repetições. Os níveis de calagem corresponderam a 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 vezes a necessidade de calagem, calculada pelo método de saturação em bases ($V_2=70\%$). Utilizaram-se as variedades Catimor (232T15-PN) sensível ao alumínio, Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 15 medianamente tolerantes e Icatu (IAC 4045) tolerante ao Al. O espaçamento utilizado foi de 2,5x1,0 m com quatro plantas por parcela, sendo as duas centrais úteis.

As avaliações da parte aérea foram realizadas aos 13 e 23 meses após a implantação do experimento, consistindo na medida da altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios. O sistema radicular foi avaliado aos 17 e 34 meses após o plantio das mudas, por amostragem com um trado tipo sonda aos 15 cm da haste ortotrópica na primeira avaliação e a 15 a 30 cm da haste ortotrópica na segunda avaliação, sendo as raízes separadas do solo por catação manual, lavadas em água corrente, determinado-se a matéria fresca de raízes, o volume por deslocamento de água em proveta graduada e a área superficial após coloração com safranina 1%.

Determinou-se o peso de matéria fresca, comprimento, superfície, comprimento específico e superfície específica das raízes em ambas avaliações. Analisaram-se também as concentrações foliares de P, Ca, Mg, K, Mn, Zn e Cu aos 15 e

34 meses após o plantio das mudas, enquanto no solo realizaram-se análises de pH, Ca, Mg, Ca+Mg, Al, V e m, aos 2, 17 e 29 meses após a instalação do experimento. A análise estatística das amostras de solo aos 2 e 17 meses foram realizadas conjuntamente e a de 29 meses foi realizada separadamente devido a uma nova aplicação de calcário realizada aos 21 meses para adequar o experimento aos níveis de calagem anteriormente propostos.

Para a parte aérea, raízes e concentrações de nutrientes nos tecidos, realizou-se a análise estatística separadamente por variedade para melhor caracterizar os efeitos dos tratamentos.

O melhor desenvolvimento da parte aérea da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 aos 13 e 23 meses após a instalação do experimento ocorreu numa faixa de calagem compreendida entre as doses de calcário de 0,25 a 0,54 NC, portanto em baixas doses. Semelhantemente, o crescimento das raízes, representado pelo peso de matéria fresca, superfície e comprimento radiculares avaliados aos 34 meses apresentaram o máximo desenvolvimento entre as doses 0,33 e 0,35 NC, portanto compreendidas entre as que promoveram melhor desenvolvimento da parte aérea aos 23 meses após o plantio.

Para a variedade Catimor (232T15-PN), o melhor desenvolvimento das raízes ocorreu entre as doses de calcário de 0,74 a 0,84 NC, coincidindo com as doses que proporcionaram as maiores concentrações de Ca nas folhas. Isto mostra, que esta variedade é mais exigente em cálcio do que a Catuaí Vermelho IAC 99, podendo ser este o fator de maior sensibilidade ao Al, visto também que, o menor desenvolvimento das raízes ocorreu na ausência da calagem.

Na variedade Icatu (IAC 4045) há uma relação direta do desenvolvimento da parte aérea com o desenvolvimento das raízes na camada superior do solo e os teores de Mn nas folhas. A elevação dos teores de Mn com pequenas doses de calcário provavelmente reduziu o desenvolvimento da parte aérea e das raízes, enquanto que o ponto de menor concentração do elemento nas folhas, coincide com o máximo desenvolvimento da parte aérea aos 23 meses e das raízes na camada superior do solo, aos 34 meses após o plantio das mudas, mostrando que apesar da maior tolerância ao Al previamente apresentada por essa variedade, esta se mostra sensível a altas concentrações de Mn.

Houve um afinamento e alongamento das raízes da variedade Catuaí Vermelho IAC 15 com as doses de calcário. Tal fato foi observado pelo aumento linear do comprimento e superfície radiculares específicos com a aplicação dos tratamentos.

Nas condições em que o experimento foi realizado, observou-se pela análise de tecidos aos 15 meses, que ocorreram inibição competitiva entre os nutrientes Ca e Mg com K nas variedades Catuaí Vermelho IAC 99 e Catimor (232T15-PN) e antagonismo entre Ca e Mg com Cu na variedade Catuaí Vermelho IAC 99, enquanto que aos 34 meses houve inibição competitiva entre Mg e K na variedade Catuaí Vermelho IAC 15.

No solo, houve lixiviação dos cátions Ca e Mg e Ca+Mg abaixo da camada arável 0-20 cm, reduzindo linearmente o teor de Al e a saturação por alumínio na camada inferior do solo com o aumento das doses de calcário, principalmente aos dois meses após a aplicação de calcário e aos 8 meses após a nova aplicação de calcário (29 meses de experimentação).

Em geral, a saturação por alumínio até 29,6% na camada arável do solo (0-20 cm) não causou impedimento ao desenvolvimento das raízes e parte aérea das variedades utilizadas no experimento até os 34 meses de idade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a APROXIMAÇÃO, Viçosa, MG, 1999. 25-42p.
- ANDRADE, C. E. Calagem e adubação do café. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130p.
- AUGUSTO, H. S. Desempenho de variedades de café (*Coffea arábica* L.) em espaçamentos adensados. Viçosa, MG:UFV, 2000. 122p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.
- BASU, U.; BASU, A.; TAYLOR, G. J. Differential exudation of polypeptides by roots of aluminum-resistant and aluminum-sensitive cultivars of *Triticum aestivum* L. in response to aluminum stress. *Plant. Physiol.*, 106: 151-158, 1994.
- BOLIVAR, G. B. Efeitos de calcário, gesso e superfosfato triplo sobre a movimentação de cálcio, magnésio, enxofre e fósforo e o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Viçosa, MG:UFV, 1993. 136p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.
- BRACCINI, M. C. L. Tolerância de genótipos de café ao alumínio em solução nutritiva e em solo. Viçosa, MG:UFV, 2000. 105p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, A. L.; MENDONÇA, S. M. Avaliação do pH da rizosfera de genótipos de café em resposta à toxidez de alumínio no solo. *Bragantia*, Campinas, 59(1): 83-88, 2000 a.

- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, A. L. Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução. *Bragantia*, Campinas, 59(2): 221-226, 2000 b.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; SILVA, E. A. M.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxilina como critérios de avaliação de genótipos de café quanto à tolerância à toxidez de alumínio. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 24: 59-68, 2000 c.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; SILVA, E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: 435-442, 1998.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; PEREIRA, A. A. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. II. Teores de P, Ca e Al e eficiência ao P e Ca. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: 443-450, 1998.
- BUCIO, J. L.; JACOBO, M. F. N.; RODRIGUEZ, V. R.; ESTRELLA, L. H. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*, 160: 1-13, 2000.
- CAIRES, E. F. & ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. *Bragantia*, Campinas, 57(1): 175-184, 1998.
- CAMARGO, O. A.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; QUAGGIO, J. A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzólico com a calagem. *Sci. Agric.*, 54(1/2): 01-08, 1997.
- CAMBRAIA, J.; SILVA, M.A.; CANO, M.A.; SANTANA, R. Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao Al. *R. Brás. Fisiol. Veg.*, 3:87-95, 1991.
- CANÇADO, G. M. A., LOPES, M. A. & PAIVA, E. Genética e bioquímica da tolerância de plantas ao alumínio. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. Inter-relação fertilidade, biologia e nutrição de plantas. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationship. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. 818 p.
- CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agr. Bras.*, 19(5): 573-582, 1984.
- CORRÊA, J. B. Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para cafeeiros (*Coffea arábica* L.) em crescimento. Lavras, MG:ESAL, 1992. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1992.

- DAL BÓ, M. A. Movimentação de bases e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em colunas de solo, em função da adição de diferentes sais de cálcio. Viçosa, MG:UFV, 1985. 62p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1985.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. Viçosa, UFV, 1997. 26p. (Boletim de Extensão no 29).
- DELHAIZE, E. & RYAN, P. R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol.*, 107: 315-321, 1995.
- EUCLYDES, R.F. Sistema para análise estatísticas e genéticas (SAEG) – manual provisório. CPD/UFV, Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento, Viçosa, MG, 1983, 74p.
- FOY, D. C., FLEMING, A. L. The physiology of plant tolerance of excess available aluminum and manganese in acid soils. *Annals Society of Agronomy*, v.32, p.301-328, 1978.
- FREITAS, J. de A. D. de. Determinação da necessidade de calagem para o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arábica* L.). Viçosa, MG:UFV, 1998. 99p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.
- FURLANI, P. R. Toxicidade de alumínio e manganês em plantas. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O. C. & SILVA, N. M. da. *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas, SBCS. 1983, p.79-85.
- FURLANI, P. R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. II SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. ESALQ-USP, Piracicaba, 73-92, outubro, 1989.
- GANJE, T. J.; PAGE, A. L. Rapid dissolution of tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. *At. Absorp. News*, v.13, p.131-134, 1974.
- GAROTTI, F. V. Determinação de alumínio em solos. São Paulo, SP: USP, 1992. 117p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Química, São Paulo, SP, 1992.
- GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA A. B.; MALAVOLTA E.; ROCHA M.; YAMADA T. *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1986. p. 115-156.
- JORGE, R. A.; ARRUDA, P. Aluminum-induced organic acids exudation by roots of an aluminum-tolerant tropical maize. *Phytochemistry*, 45(4): 675-681, 1997.

- MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A. F. C. Seleção de milho para tolerância ao alumínio. In: MACHADO, A. T.; MAGNAVACA, R.; PANDEY, S.; SILVA, A. F. da. Simpósio internacional sobre estresse ambiental, Belo Horizonte, MG. O milho em perspectiva: Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. México: CIMMYT/UNDP, 369-394 p., 1992.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, S.P., 319p., 1997.
- MARTINS, M. Efeitos da calagem na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em solo sob vegetação de cerrado. Piracicaba, SP: USP, 1991. 86p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1991.
- MARTINEZ, H. E. P.; MONNERAT, P.H. Níveis crescentes de alumínio em duas variedades de café cultivadas em solução nutritiva. Anais do XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1991 (resumo).
- MENEZES, J. F. S. Avaliação do estado nutricional de cafeeiros de Minas Gerais. Viçosa, MG:UFV, 2001. 210p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- MENOSSO, O. G.; COSTA, J. A.; ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35(11): 2157-2166, 2000.
- MORAES, J. F. V. Calagem e Adubação. In: INSTITUTO DA POTASSA E DO FÓSFORO. Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1988. 261-301p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 15-59p.
- PASSO, R. R.; RUIZ, H. A. Tolerância dos cafeeiros conilon e catuaí à toxidez causada pelo alumínio e manganês. *R. Ceres*, 42(239): 53-61, 1995.
- PINTRO, J.; BARLOY, J. FALLAVIER, P. Uptake of aluminium by the root tips of an Al-sensitive and Al-tolerant cultivar of *Zea mays*. *Plant Physiol. Biochem.*, 36(6): 463-467, 1998.
- RAIJ, B. V. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 1988. 88p.
- RAMOS, L. C. S.; LIMA, M. M. A.; CARVALHO, A. Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiros. *Bragantia*, Campinas, 41: 93-99, 1982.

- RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80p. (EPAMIG. Série Documentos, 37).
- RODRIGUES, L. A. Crescimento e composição mineral na parte aérea e nas raízes de duas variedades de café em resposta à calagem na subsuperfície do solo. Viçosa, MG:UFV, 1997. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.
- RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, S. M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. *Plant and Soil* 234: 207-214, 2001.
- ROSOLEM, C. A.; GIOMMO, G. S.; BENATTILAURENTI, R. L. Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodoeiro em resposta à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35(4): 827-833, 2000.
- ROSSIELLO, R. O. P.; ARAÚJO, A. P.; MANZATTO, C. V.; FERNANDES, M. S. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30(5): 633-638, 1995.
- RYAN, P. R.; KINRAIDE, T. B.; KOCHIAN, L. V. Al³⁺ - Ca²⁺ interactions in aluminum rhizotoxicity. *Planta*, (1994) 192:98-103p.
- SAES, M. S. M.; FARINA, E. M. M. O agribusines do café no Brasil. Pensa/Editora Milkbizz. São Paulo, 1999, 13p.
- SASAKI, M.; YAMAMOTO, Y.; MATSUMOTO, H. Lignin deposition induced by aluminum in wheat (*Triticum aestivum*) roots. *Physiol. Plant.*, 96: 193-198, 1996.
- SIQUEIRA, R. & PAVAN, M. A. Crescimento de raízes de cafeeiros em camadas compactadas de um solo ácido com e sem restrições químicas. *Arq. Biol. Tecnol.* 40(1): 1-8, 1997.

APÊNDICE

QUADRO 1A – Resumo das análises de variância da altura de planta, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 13 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Altura de Planta				Número de Ramos Plagiotrópicos				Número de Internódios			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	85,72	17,68	185,77	743,33	2,13	2,11	41,97	59,99	5921,84	9890,51	30361,54	38728,57
Calagem	3	75,11*	17,43 ^{ns}	23,43 ^{ns}	179,27 ^{ns}	11,94*	16,95*	6,71 ^{ns}	25,52 ^o	19262,81**	14120,03**	502,73 ^{ns}	24326,81*
Resíduo	9	36,39	63,49	124,75	168,58	5,06	5,54	18,53	11,11	4598,98	2964,66	15563,37	9127,54
C.V. (%)		7,3	9,54	14,71	13,18	7,26	7,34	15,35	11,26	12,5	10,07	29,42	20,96

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 1B – Resumo das análises de variância da altura de planta, número de ramos plagiotrópicos e número de internódios de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 23 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Altura de Planta				Número de Ramos Plagiotrópicos				Número de Internódios			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	46,88	17,07	368,81	652,47	11,05	176,46	363,75	146,5	9843,62	89619,27	148138,8	163396,7
Calagem	3	260,38 ^o	265,26 ^{ns}	150,93 ^{ns}	729,89*	101,69 ^{ns}	124,92*	4,75 ^{ns}	292,17**	146274,9*	42015,8 ^{ns}	26897,6 ^{ns}	184731,6*
Resíduo	9	126,28	209,02	373,08	164,81	72,56	39,39	172,03	35,22	34816,72	41282,93	111613,7	60269,9
C.V. (%)		10,8	13,22	19,75	9,02	19,07	13,04	29,56	12,3	21,2	23,42	42,89	27,13

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2A – Resumo das análises de variância do peso de matéria fresca de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e peso de matéria fresca total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Peso de Matéria Fresca de Raiz 0-20cm				Peso de Matéria Fresca de Raiz 20-40 cm				Peso de Matéria Fresca Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	65364,7	1099620	732233,9	174821,6	41548,3	167767,1	22945,1	11927,3	202751,5	1928918	930893,6	182153,1
Calagem	3	87521,5 ^{ns}	7145,8 ^{ns}	78539,6 ^{ns}	396090,5 ^{ns}	38943,9 ^{ns}	79698,2 ^{ns}	11324,3 ^{ns}	13888,9 ^{ns}	237021,4 ^{ns}	89446,7 ^{ns}	104558,6 ^{ns}	343821,6 ^{ns}
Resíduo	9	294403,2	369170,2	82475,2	644119,7	106632,4	111762,5	46625,6	28892,1	643973,6	583203,8	231332,5	597310,7
C.V. (%)		49,87	45,39	34,23	72,07	71,65	61,12	63,98	53,86	51,98	40,5	40,88	54,01

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2B – Resumo das análises de variância da distribuição percentual do peso de matéria fresca de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual da Matéria Fresca Raiz 0-20cm				Percentual da Matéria Fresca Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	14,08	88,93	339,91	100,69	14,08	88,93	339,96	100,7
CALAGEM	3	71,43 ^{ns}	113,47 ^{ns}	63,13 ^{ns}	141,78 ^{ns}	71,47 ^{ns}	113,47 ^{ns}	63,16 ^{ns}	111,56 ^{ns}
RESIDUO	9	120,58	115,96	83,39	343,24	120,6	115,96	83,34	343,31
C.V. (%)		15,28	15,22	12,98	25,22	39,01	36,84	30,78	69,83

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2C – Resumo das análises de variância do comprimento de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e comprimento total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Comprimento de Raiz 0-20cm				Comprimento de Raiz 20-40 cm				Comprimento Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	204,56	278,81	379,26	261,04	269,21	195,32	3,09	185,55	740,31	917,55	427,18	679,85
Calagem	3	330,44 ^{ns}	118,29 ^{ns}	238,42 ^o	2053,82*	293,48 ^o	213,91 ^{ns}	163,43 ^{ns}	116,96 ^{ns}	1084,34 ^{ns}	624,76 ^{ns}	621,72 ^o	2184,98 ^o
Resíduo	9	748,99	333,59	164,22	733,95	228,86	230,13	120,37	154,44	1573,76	665,81	345,36	1151,22
C.V. (%)		54,17	36,22	29,76	51,67	70,19	59,95	53,28	56,71	55,04	34,07	29,2	45,64

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2D – Resumo das análises de variância da distribuição percentual do comprimento de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual do Comprimento Raiz 0-20cm				Percentual do Comprimento Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	118,18	19,54	92,18	122,84	118,24	19,52	92,11	122,82
CALAGEM	3	158,31 ^{ns}	91,93 ^{ns}	165,78 ^{ns}	404,03 ^o	157,98 ^{ns}	92,05 ^{ns}	165,82 ^{ns}	404,19 ^o
RESIDUO	9	142,45	205,2	129,49	164,75	142,43	205,14	129,48	164,81
C.V. (%)		16,84	20,95	16,78	18,42	40,95	45,26	35,35	42,02

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2E – Resumo das análises de variância da superfície de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e superfície total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Superfície de Raiz 0-20cm				Superfície de Raiz 20-40 cm				Superfície Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	182,23	2045,36	1533,05	339,08	129,99	584,22	29,96	126,66	530,04	4640,95	1901,71	380,19
Calagem	3	586,26 ^{ns}	227,98 ^{ns}	413,88 ^o	662,91 ^{ns}	312,33 ^{ns}	472,49 ^{ns}	148,17 ^{ns}	71,58 ^{ns}	1646,68 ^{ns}	1169,13 ^{ns}	781,52 ^{ns}	766,49 ^{ns}
Resíduo	9	1346,25	480,74	220,82	774,91	365,44	424,41	268,89	152,55	2734,05	1045,01	796,17	841,47
C.V. (%)		48,95	26,44	24,74	38,12	60,33	54,38	59,51	46,45	49,03	26,75	32,2	29,12

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2F – Resumo das análises de variância da distribuição percentual da superfície de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual da Superfície Raiz 0-20cm				Percentual da Superfície Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	21,53	10,58	185,34	102,45	21,5	10,6	185,5	102,37
CALAGEM	3	105,59 ^{ns}	106,28 ^{ns}	114,34 ^{ns}	107,40 ^{ns}	105,69 ^{ns}	106,21 ^{ns}	114,24 ^{ns}	107,46 ^{ns}
RESIDUO	9	117,27	105,1	106,34	165,23	117,26	105,06	106,24	165,2
C.V. (%)		15,22	14,7	15	17,87	37,53	33,88	32,98	45,8

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2G – Resumo das análises de variância do comprimento específico de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e comprimento específico total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Comprimento Específico de Raiz 0-20cm				Comprimento Específico de Raiz 20-40 cm				Comprimento Específico Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	4,96	9,58	32,01	6,97	15,84	3,71	61,34	37,35	6,01	5,34	34,6	1,48
Calagem	3	1,52 ^{ns}	1,33 ^{ns}	6,67 ^{ns}	58,01 ^{ns}	7,12 ^{ns}	5,18 ^{ns}	36,36 ^{ns}	48,24 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,01 ^{ns}	12,85 ^{ns}	17,63 ^{ns}
Resíduo	9	4,39	5,33	23,47	36,26	5,65	14,28	35,53	63,72	4,47	3,67	24,83	12,7
C.V. (%)		42,8	50,37	72,31	91,84	46,02	71,74	78,21	96,09	42,47	41,63	72,63	58,5

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 2H – Resumo das análises de variância da superfície específica de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e superfície específica total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 17 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Superfície Específica de Raiz 0-20cm				Superfície Específica de Raiz 20-40 cm				Superfície Específica Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	2,77	5,4	12,76	0,4	7,92	1,65	18,49	4,64	3,41	3,14	13,1	0,44
Calagem	3	0,61 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,95 ^{ns}	19,04 ⁰	2,61 ^{ns}	1,81 ^{ns}	7,83 ^{ns}	7,42 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,56 ^{ns}	3,50 ^{ns}	7,38 ^{ns}
Resíduo	9	2,74	3,01	6,95	10,69	2,47	7,07	6,21	12,79	2,57	2,26	6,3	5,42
C.V. (%)		23,45	25,61	32,44	41,81	21,44	36,34	28,15	39,42	22,46	21,91	30,13	30,37

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

Quadro 3A – Resumo das análises de variância do peso de matéria fresca de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e peso de matéria fresca total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Peso de Matéria Fresca de Raiz 0-20cm				Peso de Matéria Fresca de Raiz 20-40 cm				Peso de Matéria Fresca Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	78479,1	3845,1	36110,5	450654,5	182959,9	34329,1	73339,06	385685,4	263218,2	22424,3	61471,19	1590870
Calagem	3	891305,8**	54929,5 ^{ns}	51441,2 ^{ns}	395919,1 ^o	110093,2 ^{ns}	26075 ^{ns}	104059,9 ^{ns}	76885,4 ^{ns}	1454890**	140280,6 ^{ns}	80765,4 ^{ns}	287753 ^{ns}
Resíduo	9	112437,7	68508,4	172876,1	231523,7	113105,7	95693,1	229397,4	465559	185556,9	236472,6	664787,2	804505
C.V. (%)		23,88	19,41	33,96	32,78	42,79	41,11	55,07	73,42	19,67	23,15	38,94	37,41

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3B – Resumo das análises de variância da distribuição percentual do peso de matéria fresca de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual da Matéria Fresca Raiz 0-20cm				Percentual da Matéria Fresca Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	129,39	56,31	86,98	22,08	129,39	56,31	86,98	22,08
CALAGEM	3	227,78 ^o	8,70 ^{ns}	164,79 ^{ns}	94,85 ^{ns}	227,78 ^o	8,70 ^{ns}	164,79 ^{ns}	94,85 ^{ns}
RESIDUO	9	162,55	71,72	98,32	147,66	162,55	71,72	98,32	147,66
C.V. (%)		20,03	13,03	16,52	19,55	35,07	24,19	16,52	19,55

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3C – Resumo das análises de variância do comprimento de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e comprimento total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Comprimento de Raiz 0-20cm				Comprimento de Raiz 20-40 cm				Comprimento Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	9243,48	19432,36	7968,17	2412,49	2770,05	2851,76	9138,46	1049,75	22078,62	33703,8	32960,73	6436,56
Calagem	3	4234,99**	1592,98 ^{ns}	12559,31 ^o	2804,63 ^{ns}	1090,55 ^o	1618,19 ^o	3677,77*	179,21 ^{ns}	8335,20*	4479,08 ^{ns}	28538,51*	3385,39 ^{ns}
Resíduo	9	880,01	1053,7	5412,12	1742,99	535,44	938,32	1608,23	698,92	1749,45	2638,71	9907,9	4370,1
C.V. (%)		26,53	23,26	58,57	37,63	42,34	45,73	54,88	53,07	25,13	24,87	50,1	41,12

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3D – Resumo das análises de variância da distribuição percentual do comprimento de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual do Comprimento Raiz 0-20cm				Percentual do Comprimento Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	8,74	295,27	178,63	14,07	9,25	295,27	178,67	14,06
CALAGEM	3	63,98 ^{ns}	52,74 ^{ns}	29,83 ^{ns}	139,87*	64,63 ^{ns}	52,70 ^{ns}	29,79 ^{ns}	139,85*
RESIDUO	9	110,28	64,45	148,15	49,06	109,69	64,46	148,12	49,05
C.V. (%)		15,56	11,98	18,89	10,15	32,23	24,33	34,21	22,59

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3E – Resumo das análises de variância da superfície de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e superfície total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Superfície de Raiz 0-20cm				Superfície de Raiz 20-40 cm				Superfície Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	4093,29	6025,28	1512,77	2974,27	2393,73	989,59	4657,07	1831,51	12264,07	9700,99	10110,86	9305,71
Calagem	3	6830,89**	504,48 ^{ns}	3457,51 ^{ns}	3428,29*	1414,78 ^o	1002,09 ^{ns}	2124,43 ^o	275,94 ^{ns}	12413,9**	2321,90 ^{ns}	9009,13 ^o	2957,74 ^{ns}
Resíduo	9	815,72	539,17	1593,41	1116,36	741,92	847,93	1812,93	1528,04	1540,43	2263,04	4781,83	3957,58
C.V. (%)		21,68	15,92	30,95	24,74	38,45	37,9	50,45	53,71	19,37	21,37	32,41	30,27

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3F – Resumo das análises de variância da distribuição percentual da superfície de raízes nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Percentual da Superfície Raiz 0-20cm				Percentual da Superfície Raiz 20-40 cm			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
BLOCO	3	46,72	147,24	147,53	10,58	46,72	147,24	147,53	10,58
CALAGEM	3	144,04 ^{ns}	26,84 ^{ns}	97,42 ^{ns}	120,21 ^o	144,04 ^{ns}	26,84 ^{ns}	97,42 ^{ns}	120,21 ^o
RESIDUO	9	105,84	45,41	111,51	70,11	105,84	45,41	111,51	70,11
C.V. (%)		15,79	10,25	16,96	12,82	29,54	19,66	27,99	24,15

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 3G – Resumo das análises de variância do comprimento específico de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e comprimento específico total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Comprimento Específico de Raiz 0-20cm				Comprimento Específico de Raiz 20-40 cm				Comprimento Específico Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	48,69	109,85	96,15	12,25	25,99	62,51	68,79	9,92	35,87	88,37	81,16	11,94
Calagem	3	9,32 ^{ns}	15,33 ^o	100,15 ^{ns}	7,19 ^{ns}	2,47 ^{ns}	4,79 ^{ns}	46,21 ^{ns}	1,25 ^{ns}	1,62 ^{ns}	10,25 ^o	71,19 ^{ns}	2,97 ^{ns}
Resíduo	9	7,45	11,06	70,99	17,68	4,68	8,11	25,98	10,94	2,03	7,18	47,34	13,54
C.V. (%)		32,11	31,62	76,82	51,98	30,21	30,7	60,23	55,11	18,57	26,58	69,44	51,41

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.]

QUADRO 3H – Resumo das análises de variância para superfície específica de raízes nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e superfície específica total de raízes de quatro variedades de cafeeiros em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO											
		Superfície Específica de Raiz 0-20cm				Superfície Específica de Raiz 20-40 cm				Superfície Específica Total de Raiz			
		Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu	Catuaí 99	Catuaí 15	Catimor	Icatu
Bloco	3	18,79	30,39	19,46	2,52	11,85	18,96	22,2	3,98	15,44	25,02	19,68	3,44
Calagem	3	2,06 ^{ns}	3,17 ^o	18,98 ^o	3,07 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,48 ^{ns}	13,78*	0,79 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,66 ^o	16,57 ^o	1,32 ^{ns}
Resíduo	9	1,92	2,21	11,27	7,22	3,04	2,92	5,47	5,87	0,98	1,64	7,71	5,99
C.V. (%)		14,34	13,66	31,01	28,26	19,06	16,35	24,15	29,1	10,64	11,97	26,73	27,32

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 4A – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catuaí 99 em resposta à calagem aos 15 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	Cu
BLOCO	3	0,01777	0,00635	0,21497	0,000106	53,895	21604,9	22229,4	0,75
CALAGEM	3	0,05411 ^o	0,01003*	0,31609*	0,000622*	107,062 ^o	26606,2 ^{ns}	54141,7**	8,25*
RESIDUO	9	0,021877	0,00358	0,12248	0,0001951	54,451	26029,4	10746,2	1,6388
C.V. (%)		16,03	16,86	19,84	10,49	25,39	47,85	27,33	12,64

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 4B – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catuaí 15 em resposta à calagem aos 15 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	Cu
BLOCO	3	0,000808	0,0079833	0,28597	0,000039	189,562	5833,2	43696,5	6,56
CALAGEM	3	0,015175 ^o	0,00845*	0,142491 ^o	0,000006 ^{ns}	84,395 ^{ns}	721,1 ^{ns}	28961,7**	6,73*
RESIDUO	9	0,010291	0,002711	0,087463	0,000106	153,784	4056,9	2678,39	2,11
C.V. (%)		10,06	14,36	17,28	7,89	39,29	19,85	12,45	14,64

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 4C – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catimor em resposta à calagem aos 15 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	Cu
BLOCO	3	0,0025166	0,021422	0,12044	0,000016	82,166	10764,2	6721,5	121,22
CALAGEM	3	0,0257166*	0,028289*	0,337291*	0,00025**	645,667*	26734,17 ^o	28008,8**	192,229 ^o
RESIDUO	9	0,0046	0,005617	0,0934194	0,000055	140,5	15526,33	1218,56	99,618
C.V. (%)		7,12	17,82	19,45	5,62	33,39	30,65	9,68	77,15

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 4D – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Icatu em resposta à calagem aos 15 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	Cu
BLOCO	3	0,035856	0,011775	0,573889	0,0001562	126,166	2736,23	4023,73	10,25
CALAGEM	3	0,058622**	0,034008 ^o	0,141489 ^{ns}	0,000706**	44,000 ^{ns}	12219,73*	12615,9 ^o	8,4166 ^o
RESIDUO	9	0,010984	0,0079805	0,259945	0,0000618	166,389	3672,17	4370,003	3,30555
C.V. (%)		11,768	23,13	23,05	5,91	37,39	19,16	17,26	15,98

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 5A – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catuaí 99 em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	P	K	Zn	Fe	Cu	Mn
BLOCO	3	0,013822	0,000225	0,001016	0,25984	2,0289	10941,4	25,4606	37481,01
CALAGEM	3	0,21622**	0,02132*	0,004166*	0,121558 ^{ns}	2,3689 ^{ns}	13576,1 ^o	15,662 ^o	8186,94 ^{ns}
RESIDUO	9	0,043417	0,006267	0,00055	0,26993	2,4934	6182,22	10,6256	19284,14
C.V. (%)		18,93	19,63	14,43	15,28	18,21	51,42	19,01	30,48

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 5B – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catuaí 15 em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	P	K	Zn	Fe	Cu	Mn
BLOCO	3	0,067206	0,015158	0,000389	0,234358	9,0472	7373,67	23,2291	4619,93
CALAGEM	3	0,048906*	0,008373 ^o	0,000006 ^{ns}	0,455025*	3,72562 ^{ns}	3803,79 ^{ns}	7,5374 ^{ns}	1068,80 ^{ns}
RESIDUO	9	0,018011	0,004283	0,000273	0,14824	12,2495	3310,83	14,0331	4441,47
C.V. (%)		12,64	16,792	11,15	11,25	37,96	38,38	22,55	15,17

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 5C – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Catimor em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	P	K	Zn	Fe	Cu	Mn
BLOCO	3	0,00485	0,004646	0,001606	0,810716	4,8875	16156,51	20,9542	11533,64
CALAGEM	3	0,061666*	0,00434 ^{ns}	0,00088 ^{ns}	0,29886 ^{ns}	0,63583 ^{ns}	55,706 ^{ns}	14,749 ^{ns}	15629,92*
RESIDUO	9	0,017194	0,004053	0,000712	0,32083	1,87639	2427,26	11,9542	5893,56
C.V. (%)		13,48	15,45	18,97	16,31	17,53	31,15	26,98	21,41

** , * , ⁰ e ns - signicativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 5D – Resumo das análises de variância das concentrações de nutrientes nas folhas da variedade Icatu em resposta à calagem aos 34 meses após a instalação do experimento

FV	GL	QUADRADO MEDIO							
		Ca	Mg	P	K	Zn	Fe	Cu	Mn
BLOCO	3	0,016091	0,017397	0,00029	2,2128	24,129	4759,759	7,8756	64907,08
CALAGEM	3	0,02847 ^o	0,00474 ^{ns}	0,00025 ^{ns}	1,1669 ^{ns}	18,332 ^{ns}	5566,31 ^{ns}	1,8188 ^{ns}	35443,59*
RESIDUO	9	0,022408	0,005052	0,000484	1,40217	22,0151	4502,705	6,61007	6243,753
C.V. (%)		13,78	18,53	14,25	25,77	50,15	50,1	17,33	19,06

** , * , ^o e ns - signicativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 6A – Resumo das análises de variância dos resultados da análise do solo na camada de 0-20 cm de profundidade submetido a quatro níveis de calagem e quatro variedades de cafeeiros aos 2 meses (época 1) e 17 meses (época 2) após a instalação do experimento. pH – acidez ativa, Ca – cálcio trocável (cmolc/dm³), Mg – magnésio trocável (cmolc/dm³), Ca+Mg – valores de cálcio+magnésio trocáveis (cmolc/dm³), Al – alumínio trocável (cmolc/dm³), V – saturação por bases (%), m – saturação por alumínio (%)

FV	GL	QUADRADO MEDIO						
		pH	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	V	m
Bloco	3	0,04227	0,9314	0,08998	1,44067	0,05835	400,997	134,133
Variedade (Var)	3	0,1241 ^{ns}	0,67051 ^{ns}	0,04893 ^{ns}	1,07519 ^{ns}	0,02066 ^{ns}	74,623 ^{ns}	23,236 ^{ns}
Calagem (Cal)	3	4,14105**	31,41282**	2,74633**	52,4406**	8,49129**	5930,967**	9321,405**
Interação Var x Cal	9	0,03400 ^{ns}	0,48741 ^{ns}	0,05445 ^{ns}	0,84711 ^{ns}	0,02675 ^{ns}	97,459 ^{ns}	30,587 ^{ns}
Erro A	45	0,054613	0,306827	0,026054	0,431701	0,05939	56,974	66,426
Época	1	0,81920**	7,40644**	1,56424**	15,7992**	0,83414**	2515,000**	702,563**
Bloco x Época	3	0,080172	0,17658	0,009844	0,266127	0,031223	109,012	27,153
Var x Época	3	0,00560 ^{ns}	0,136025 ^{ns}	0,00571 ^{ns}	0,18129 ^{ns}	0,04055 ^{ns}	31,206 ^{ns}	37,468 ^{ns}
Cal x Época	3	0,02415 ^{ns}	2,55214**	0,17003**	4,03861**	0,05333 ^{ns}	374,211**	84,357 ^o
Var x Cal x Época	9	0,02080 ^{ns}	0,153941 ^{ns}	0,01216 ^{ns}	0,22930 ^{ns}	0,03089 ^{ns}	22,340 ^{ns}	28,999 ^{ns}
Resíduo	45	0,043908	0,302159	0,023609	0,452918	0,041205	80,881	36,390
C.V. (%)		3,98	23,57	17,85	21,08	29,62	22,96	29,80

** , * , ^o e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 6B – Resumo das análises de variância dos resultados da análise do solo na camada de 20-40 cm de profundidade submetido a quatro níveis de calagem e quatro variedades de cafeeiros aos 2 meses (época 1) e 17 meses (época 2) após a instalação do experimento. pH – acidez ativa, Ca – cálcio trocável (cmolc/dm³), Mg – magnésio trocável (cmolc/dm³), Ca+Mg – valores de cálcio+magnésio trocáveis (cmolc/dm³), Al – alumínio trocável (cmolc/dm³), V – saturação por bases (%), m – saturação por alumínio (%)

FV	GL	QUADRADO MEDIO						
		pH	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	V	m
Bloco	3	0,08591	0,68037	0,07042	1,13727	0,11473	61,5911	672,7701
Variedade (Var)	3	0,01924 ^{ns}	0,06560 ^{ns}	0,00747 ^{ns}	0,11784 ^{ns}	0,06856 ^{ns}	16,8752 ^{ns}	92,9754 ^{ns}
Calagem (Cal)	3	0,43320 ^{**}	0,61218 ^{**}	0,08791 ^{**}	1,14877 ^{**}	0,76890 ^{**}	167,900 ^{**}	1321,982 ^{**}
Interação Var x Cal	9	0,02132 ^{ns}	0,06328 ^{ns}	0,01279 ^{ns}	0,12951 ^{ns}	0,10826 ^{ns}	17,3932 ^{ns}	114,0574 ^{ns}
Erro A	45	0,02202	0,06483	0,00917	0,115340	0,04474	19,0264	89,2333
Época	1	0,00070 ^{ns}	0,28406 ^{**}	0,08925 ^{**}	0,69031 ^{**}	0,70953 ^{**}	85,9686*	589,9604 ^{**}
Bloco x Época	3	0,00966	0,00840	0,00513	0,02552	0,00684	63,8784	5,8681
Var x Época	3	0,00216 ^{ns}	0,01759 ^{ns}	0,00422 ^{ns}	0,03834 ^{ns}	0,03672 ^{ns}	4,8971 ^{ns}	31,8321 ^{ns}
Cal x Época	3	0,16237 ^{**}	0,19134 ^{**}	0,02582 ^{**}	0,35602 ^{**}	0,06593 ^{ns}	66,3751*	257,8066*
Var x Cal x Época	9	0,01799 ^{ns}	0,02427 ^{ns}	0,00318 ^{ns}	0,04110 ^{ns}	0,01865 ^{ns}	10,5489 ^{ns}	37,1186 ^{ns}
Resíduo	45	0,02332	0,03456	0,00565	0,065040	0,04760	18,3593	65,6358
C.V. (%)		3,13	26,63	26,71	26,03	13,84	27,69	13,86

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 7A – Resumo das análises de variância dos resultados da análise do solo na camada de 0-20 cm de profundidade submetido a quatro níveis de calagem e quatro variedades de cafeeiros aos 29 meses após a instalação do experimento. pH – acidez ativa, Ca – cálcio trocável (cmolc/dm³), Mg – magnésio trocável (cmolc/dm³), Ca+Mg – valores de cálcio+magnésio trocáveis (cmolc/dm³), Al – alumínio trocável (cmolc/dm³), V – saturação por bases (%), m – saturação por alumínio (%)

FV	GL	QUADRADO MEDIO						
		pH	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	V	m
Bloco	3	0,06307	0,25870	0,14945	0,78892	0,19968	71,0905	115,2848
Calagem (Cal)	3	2,66348**	12,12743**	1,70307**	22,90037**	12,78776**	2885,792**	6934,650**
Variedade (Var)	3	0,00348ns	0,01287ns	0,01278ns	0,04937ns	0,09375ns	2,9106ns	47,3187ns
Interação Cal x Var	9	0,02571ns	0,22888ns	0,06056ns	0,50630ns	0,17140ns	37,7562ns	258,061ns
Resíduo	45	0,04796	0,28285	0,04399	0,533420	0,18242	52,68705	113,0325
C.V. (%)		4,71	26,88	26,79	26,45	31,92	22,52	32,34

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.

QUADRO 7B – Resumo das análises de variância dos resultados da análise do solo na camada de 20-40 cm de profundidade submetido a quatro níveis de calagem e quatro variedades de cafeeiros aos 29 meses após a instalação do experimento. pH – acidez ativa, Ca – cálcio trocável (cmolc/dm³), Mg – magnésio trocável (cmolc/dm³), Ca+Mg – valores de cálcio+magnésio trocáveis (cmolc/dm³), Al – alumínio trocável (cmolc/dm³), V – saturação por bases (%), m – saturação por alumínio (%)

FV	GL	QUADRADO MEDIO						
		pH	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	V	m
Bloco	3	0,06641	0,12702	0,05321	0,33705	0,20777	57,5136	174,7232
Calagem (Cal)	3	0,84141**	2,78534**	0,4194**	5,36563**	5,04127**	914,1473**	3607,508**
Variedade (Var)	3	0,01641 ^{ns}	0,01775 ^{ns}	0,00025 ^{ns}	0,01837 ^{ns}	0,00777 ^{ns}	2,8663 ^{ns}	1,4466 ^{ns}
Interação Cal x Var	9	0,01987 ^{ns}	0,15333 ^{ns}	0,03294 ^{ns}	0,32095 ^{ns}	0,28335 ^{ns}	45,9419 ^{ns}	190,4111 ^{ns}
Resíduo	45	0,02218	0,13954	0,023671	0,27455	0,20514	42,2209	157,1403
C.V. (%)		3,38	34,25	34,85	34,20	22,38	30,86	22,82

** , * , ⁰ e ns - significativo a 1%, 5%, 10% e não significativo pelo teste F.