

JOSÉ ROMEU AITH FAVARO

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Coffea arabica* L. EM RESPOSTA A
NUTRIÇÃO FOLIAR DE ZINCO NA PRESENÇA DE CLORETO DE POTASSIO

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Fisiologia
Vegetal, para Obtenção do Título
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

ABRIL - 1992

DOAÇÃO

A Deus.

A meus pais, José Fávoro

e Olga Arbex Aith Fávoro

A minha irmã, Rosana Graciële

A minha namorada, Ana Paula

Ao meu cunhado João Antonio.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao Professor Alemar Braga Rena, pela valiosa orientação, amizade e incentivo na realização do presente trabalho.

Ao Pesquisador Antonio Teixeira Cordeiro, pela amizade, críticas e sugestões apresentadas.

Aos Professores Jose Donizeti Alves e Victor Hugo Alvarez V. e ao Pesquisador Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos funcionários dos Departamentos de Biologia Vegetal e de Fitotecnia, pela colaboração no decorrer do experimento.

Aos professores das disciplinas cursadas durante minha Formação Acadêmica, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos Ramon de Paula Braga e Raion Vasconcelos

Braga, pela amizade. agradável convivência e valiosa colaboração na execução do experimento.

Aos amigos de pós-graduação, Gínia, Carmen, Chico, Gedir, Henrique, Murilo, Juraci, Sert, Rafael e Ronessa, pela experiência profissional transmitida.

As amigas Adriana Reatto, Adriana Murad e Flávia, e aos amigos de "república". André, Marcos e Carlinhos, pelo convívio e amizade.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

,

BIOGRAFIA

JOSE ROMEU AITH FAVARO. filho de JOSE Fávoro e Olga Arbex Aith Fávoro, nasceu em Pirajú - SP, aos quatro dias do mês de fevereiro de 1967.

Cursou o primeiro e o segundo grau em Pirajú - SP. Ingressou na Universidade Federal de Viçosa (U.F.V.), em 1985, onde graduou-se em Engenharia Agrônômica, em janeiro de 1989.

Foi bolsista do CNPq, em Iniciação Científica, no período de março de 1987 a dezembro de 1988.

Iniciou o curso de Fisiologia Vegetal, a nível de Mestrado, na mesma universidade. em março de 1989.

3.5. Crescimento Vegetativo e Reprodutivo do
Cafeeiro em Função da Nutrição com Zinco.....50

4. RESUMO E CONCLUSÕES..... 70

5. BIBLIOGRAFIA..... 73

APÊNDICE..... 83



■



EXTRATO

FAVARO, Jose Romeu Aith, U.S., Universidade Federal de Viçosa. Abril de 1992. Crescimento e Produção de Coffea arabica L. em Resposta à Nutrição Foliar de Zinco na Presença de Cloreto de Potássio. Professor Orientador: Alemar Braga Rena. Conselheiros: Pesquisador Antônio Teixeira Cordeiro e Professor Victor Hugo Alvarez V.

Objetivou-se estudar os efeitos da adição de uréia e de cloreto de potássio na absorção de zinco pelas folhas do cafeeiro. A mobilidade e a distribuição subcelular do zinco absorvido, bem como as relações entre o teor foliar de zinco e os crescimentos vegetativo e reprodutivo do cafeeiro. também foram objetos de estudo.

O cloreto de potássio, ao contrário da uréia, aumentou a absorção foliar do zinco pelo cafeeiro. O teor foliar de potássio não se alterou.

A absorção foliar de zinco foi bastante rápida, com 60 a 70% do teor máximo sendo alcançado com apenas três horas a partir do início da absorção. A aplicação simultânea de cloreto de potássio acelerou o processo.

No campo. os teores de zinco em folhas

correspondentes ao terceiro par, à época da pulverização, observados aos 3 dias após a aplicação, não diferiram daqueles verificados aos 30 e 60 dias nas mesmas condições. Observou-se a imobilidade acrópeta do zinco quando aplicado às folhas.

A quantidade de zinco presente na parede celular, aumentou rapidamente após a pulverização, verificando-se um máximo entre 20 e 30 horas, decaindo em seguida. Essa retenção inicial na parede foi aumentada pela inclusão do cloreto de potássio na solução de pulverização. Verificou-se o início do acúmulo de zinco na fração "solúvel" logo após a pulverização, indicando que a parede celular não foi eficiente no sentido de evitar excessos de zinco na fração "solúvel".

A expansão foliar foi maior quando os teores de zinco nas folhas situaram-se entre 20 e 30 ppm. Estando estes acima de 40 ppm, a produção de frutos foi drasticamente reduzida. A produção máxima associou-se a um teor foliar de zinco de 20 ppm.

Os efeitos na área foliar foram mais evidentes a partir do 116º dia após a primeira aplicação dos tratamentos ou do 38º dia após a segunda.

Não foram verificados efeitos dos tratamentos nos teores foliares de Fe e P, nem correlação significativa entre o teor foliar de zinco e a atividade fotossintética.

1. INTRODUÇÃO

O zinco é um dos nutrientes mais limitantes à produção de café no Brasil (FRANCO e MENDES, 1954; SILVA, 1979; GUIMARÃES *et alii*, 1983; MALAVOLTA *et alii*, 1983 e em outras regiões produtoras do mundo (RAMAIAH *et alii*, 1964; ANANTH *et alii*, 1965; MULLER, 1966; RAO, 1978; MICHORI, 1981; RAJU, 1981; RAJU *et alii*, 1987). Essa constatação decorre da essencialidade do zinco para a função e/ou a estrutura de pelo menos uma enzima em cada categoria designada pela Comissão de Nomenclatura de Enzimas (CLARKSON e HANSON, 1980). Assim, em concentrações sub-ótimas, o zinco reduz as atividades da anidrase carbônica, da fotossíntese (CRANDALL e BOUMA, 1973; OHKI, 1976; GIBSON e LEECE, 1981) e da síntese do amido (JYUNG *et alii*, 1975), além de provocar desestruturação dos ribossomos citoplasmáticos (PRASKE e PLOCKE, 1971). Tal desestruturação promove uma redução do conteúdo ribossomal e, conseqüentemente, da síntese protéica (KITAGISHI *et alii*, 1987; OBATA e UMEBAYASHI, 1983), gerando acúmulo de

aminoácidos livres (KITAGISHI e OBATA, 19863. A deficiência de zinco também provoca aumento na atividade da ribonuclease (DWIVEDI e TAKKAR, 19743. São também bastante conhecidas as relações do zinco com a síntese de auxinas (TSUI, 1948; TAKAKI e KUSHIZAKI, 1970). Especificamente em café, observou-se acúmulo de aminoácidos livres (RAMAIAH *et alii*, 1964), principalmente asparagina. e aumento do conteúdo dos ácidos succínico, isocítrico e pirúvico (VALENCIA, 1968).

A absorção de zinco pelas raízes, especialmente em solos argilosos e intemperizados, é prejudicada pela forte ação adsorptiva exercida pelas argilas sobre o zinco (ELGABALY, 1950; THORNE, 1957; TISDALE e NELSON, 1970; REDDY e PERKINS, 19743. A baixa disponibilidade de zinco nesses solos é ainda ampliada pela elevação do pH decorrente da calagem, e pela adição desequilibrada de adubos fosfatados (THORNE, 1957; TISDALE e NELSON, 1970; OLSEN, 1972; MALAVOLTA, 19803. o que dificulta o seu fornecimento via solo.

Alternativamente, e com superioridade para atender às demandas vegetativa e reprodutiva do cafeeiro, a nutrição foliar de zinco tem sido sugerida. Nesse aspecto, ARZOLLA *et alii* (1962), em estudos envolvendo solução nutritiva, verificaram que a absorção foliar de zinco pelo cafeeiro foi oito vezes mais intensa que a radicular. O sulfato de zinco foi a melhor fonte para a absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiros (BLANCO *et alii*, 1972b).

Para vencer a barreira de natureza lipídica, representada pela cutícula e substâncias graxas que a recobrem, utilizam-se, além de agentes adesivos, compostos tais como uréia (YAMADA *et alii*, 1965b) e cloreto de potássio (GARCIA *et alii*, 1980; GARCIA e SALGADO, 1981; SANTINATO e CAMARGO, 1989; RENA *et alii*, 1990). objetivando-se aumentar a absorção de zinco. Segundo YAMADA *et alii* (1965a), a uréia promove um aumento da permeabilidade cuticular, não somente para si, mas também para outros íons que participam da solução de pulverização. Tal aumento foi atribuído por YAMADA *et alii* (1965b) a alterações na estrutura da cutícula, induzidas pela uréia. Contudo, nem todos os estudos, utilizando-se a combinação uréia-fonte de zinco, resultaram em maior absorção deste micronutriente. Nesse aspecto, embora BLANCO *et alii* (1972a) verificassem inibição na absorção de zinco devido à uréia, nenhuma ação sinérgica, ou antagônica foi observada por GARCIA *et alii* (1980), por COSTA *et alii* (1989) e por RENA *et alii* (1990).

No entanto, devido à existência de poros cuticulares, cujas paredes são carregadas eletricamente (SCHONHERR e BUKOVAC, 1970). o uso de soluções salinas pode modificar as características eletroquímicas da cutícula e, assim, facilitar ou dificultar a penetração de íons. Desta forma, a aplicação conjunta da fonte de zinco com o cloreto de potássio pode aumentar significativamente a absorção de zinco pelas folhas do cafeeiro (GARCIA *et alii*, 1980; GARCIA e SALGADO, 1981; SANTINATO e CAMARGO, 1989; RENA *et alii*, 1990).

Apesar dos muitos estudos a respeito da absorção foliar de zinco pelo cafeeiro, observam-se controvérsias a respeito da concentração mais adequada da fonte de zinco na solução de pulverização. Enquanto na Índia recomendam-se aplicações com sulfato de zinco a 0.254 (ANANTH *et alii*, 1965; RAO, 19783, no Brasil, a literatura registra doses bem mais elevadas, variando de 0.5 a 1,0% em aplicações a alto volume (FRANÇO e MENDES, 1954; CHEBABI e GONÇALVES, 1970; PEREIRA *et alii*, 1976; SILVA, 1979; GUIMARÃES *et alii*, 1983; CHAVES, 19893.

Diferentemente dos nutrientes exigidos em maiores quantidades, o zinco, quando em concentrações ligeiramente superiores à ideal, promove decréscimo no crescimento e produção do cafeeiro (SILVA, 1979; GUIMARÃES *et alii*, 19833 e de outras espécies (RAUSER, 1973; ROSEN *et alii*, 1977; OHKI, 1984; RUANO e POSCHENRIEDER, 19881. Esses efeitos tóxicos, provocados por elevados níveis de zinco, têm sido relacionados ao seu efeito inibitório sobre a translocação do ferro (OLSEN, 1972; ROSEN *et alii*, 19771 e a atividade fotossintética; em parte devido à provável substituição do manganês pelo zinco na cadeia de transporte de elétrons nos cloroplastos (MILLER e COX, 1983; ASSCHE e CLIJSTERS, 1986). Aliada ao declínio da taxa fotossintética, a inibição da translocação de fotoassimilados pode também ser a causa dos efeitos fitotóxicos do zinco (RUANO *et alii*, 19871.

A mesma incerteza observada em relação à concentração da fonte de zinco na solução de pulverização, verifica-se quanto ao teor foliar de zinco mais adequado à

produção do cafeeiro. o qual varia desde 8 ppm (LOTT, 19013 até 70 ppm (COLIVEIRA *et alii*. 19811. Por outro lado, o teor de zinco total pode não estimar a fração prontamente disponível ao metabolismo. TURNER (1970) observou grande acúmulo do zinco na fração parede celular de tecido radicular de *Agrostis tenuis* submetido a altas concentrações externas de zinco. devido a um processo de adsorção (TURNER e MARSHALL, 1971). Diferentemente, RATHORE *et alii* (19723) constataram que 75 e 7% do zinco absorvido pelo sistema radicular de feijoeiro localizavam-se, respectivamente. nas frações citoplasmática e parede celular. Já em plantas de *Silene cucculatus*, enquanto 50% do zinco foliar acumulava-se nos vacúolos, apenas 10% encontrava-se na parede celular (ERNST e WEINER, 19721. Desta forma. embora algumas vezes obtenham-se teores de zinco total excessivamente elevados, grande parte deste zinco pode estar excluído dos sítios de maior atividade metabólica, não provocando prejuízos ao metabolismo celular, pelo menos a curto prazo.

A periodicidade da aplicação de zinco às folhas de cafeeiros também é motivo de dúvidas. MULLER (19661 relacionou a frequência da pulverização com a concentração utilizada, admitindo para isto a ocorrência de transporte acrópeto num mesmo ramo, corrigindo, assim, a deficiência dos novos surtos de crescimento após a aplicação. Entretanto. os mesmos autores que classificam o zinco como elemento parcialmente móvel na planta, observaram transporte apenas confinado ao tecido foliar adjacente ao local aplicado (BUKOVAC e WITTWER, 1957; PEASLEE *et alii*,

1981). Assim, para a determinação do intervalo entre aplicações, faz-se necessário estabelecer o grau de mobilidade do zinco a partir de folhas maduras, que receberam a aspersão, em direção aos novos surtos de crescimento.

Portanto, este trabalho teve por objetivos:

- a) quantificar o teor foliar de zinco que resulta em máxima produção vegetativa e reprodutiva do cafeeiro, e determinar como alcançá-lo;
- b) avaliar os efeitos da uréia e do cloreto de potássio na absorção foliar do zinco;
- c) estudar a mobilidade do zinco quando aplicado às folhas do cafeeiro;
- d) estudar a distribuição a nível celular do zinco absorvido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Experimento de Campo.

2.1.1. Generalidades

O experimento foi conduzido em Area experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa (MG), situada a uma altitude aproximada de 650 m, nas coordenadas geográficas de 20°45'S e 42°15'W. Utilizou-se uma lavoura de cafe (*Coffea arabica* L.) do cultivar Catuaí Vermelho. LCH 2077-2-5-44, com tres anos de idade ao início do experimento, cultivada a pleno sol, no espaçamento de tres metros entre linha e um metro entre plantas. com uma muda por cova. As características químicas do solo estão contidas no Quadro 1.

As unidades experimentais, constituídas por oito plantas em linha, sendo apenas as seis centrais consideradas úteis, foram repetidas quatro vezes e distribuídas em blocos ao acaso.

QUADRO 1- Características Químicas do Solo da Area Experimental, Amostrado na Região de Adubação, a 10 cm da Projeção em Direção ao Interior da Copa das Plantas.

CARACTERÍSTICA	PROFUNDIDADE (cm)		
	0 a 20	20 a 40	40 a 50
C (%)	2,1	1,3	1,2
pH H ₂ O 1:2,5	5,8	5,1	5,1
P (ppm)	51,5	5,1	4,5
K (")	154,0	56,0	60,0
Al (meq/100cm ³)	0,0	0,1	0,0
Ca (")	2,6	1,7	1,7
Mg (")	0,8	0,4	0,3
H + Al (")	3,5	2,9	2,6
V (%)	52,3	44,0	46,6
Zn (ppm)	1,3	1,2	1,4

C - Método Walkley-Black
 P e K - Mehlich 1
 Al, Ca e Mg - KCl 1N
 H+Al - Ca(OAc)₂ 1N pH 7.0
 Zn - 1g solo : 10 cm³ de HCl 0,1N
 1 hora de agitação (MACHADO e PAVAN, 1987)

2.1.2. Tratamentos

Os tratamentos constituiram-se da aplicação combinada de doses crescentes de sulfato de zinco (ZnSO₄.7H₂O - 22%Zn) e de cloreto de potássio (KCl - 60% K₂O), obtidas com base na Matriz Experimental Composto Central de Box-Berard, aumentada 3, modificada por LEITE (1984), perfazendo 14 tratamentos. Foram ainda acrescentados três tratamentos' adicionais para o estudo do efeito da urgia, totalizando 17 tratamentos (Quadro 2).

QUADRO 2- Concentrações de Sulfato de Zinco, Cloreto de Potássio e Uréia nas Soluções de Pulverização, para os Diversos Tratamentos no Experimento de Campo.

TRATAMENTO	ZnSO ₄	KCl	URÉIA
1	0,27	0,27	-
2	0,27	0,93	-
3	0,93	0,27	-
4	0,93	0,93	-
5	0,10	0,60	-
6	1,10	0,60	-
7	0,60	0,10	-
8	0,60	1,10	-
9	0,00	0,27	-
10	0,27	0,00	-
11	1,20	0,93	-
12	0,93	1,20	-
13	0,60	0,60	-
14	0,00	0,00	-
15	0,60	0,00	-
16	0,60	0,00	1,00
17	0,60	0,60	1,00

Adicionaram-se a todos os tratamentos. ácido bórico a 0,3% e espalhante adesivo (Agril) a 0.03%. As pulverizações foram realizadas com pulverizador costal manual, aplicando-se aproximadamente 200 ml de calda por planta. Os tratamentos foram aplicados em três épocas distintas por ano agrícola, durante dois anos consecutivos. No primeiro ano agrícola efetuaram-se as pulverizações nos dias 16/08/89, 02/11/89 e 28/01/90 e, no segundo, nos dias 07/09/90, 17/11/90 e 08/02/91. Na segunda aplicação de cada ano, adicionou-se à solução de pulverização, oxiclreto de cobre (50% de cobre metálico) a 0.8%.

As parcelas foram protegidas durante a aplicação dos tratamentos. utilizando-se anteparos plásticos para evitar que a deriva atingisse outras parcelas.

As operações complementares de manejo dos cafeeiros, como capinas, adubações e controle fitossanitário, as quais não eram objeto de estudo, foram realizadas de acordo com o CALENDARIO...C19843.

2.1.3. Análise de Minerais

Aos três dias após a aplicação dos tratamentos do primeiro ano, foram amostradas três plantas por parcela, coletando-se folhas referentes ao terceiro par, contados a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço superior, situados nos lados leste e oeste. Assim, foram coletadas quatro folhas por planta e 12 folhas por parcela. Aos 30 e 60 dias foram repetidas as coletas, retirando-se sempre as folhas referentes ao terceiro par. à época da aplicação dos

tratamentos. Aos 60 dias após a primeira e terceira pulverizações do primeiro ano, coletaram-se também folhas referentes ao terceiro par verdadeiro, que não existiam na época da pulverização, para avaliar a mobilidade acrópeta do zinco na planta. Aos 3, 30 e 60 dias depois da segunda aplicação do primeiro ano, foram também coletadas folhas referentes ao primeiro par ($C > 1.5$ cm) na época da pulverização.

As folhas foram lavadas abundantemente em Água corrente, com o auxílio de uma esponja macia e, posteriormente, em Água destilada, à semelhança da técnica da imersão e lavagem descrita por JYUNG e WITTWER (1964). Em seguida, foram secas em estufa com ventilação forçada por 72 horas, trituradas em moinho com peneira de 20 mesh e submetidas à mineralização nitroperclórica (JOHNSON e ULRICH, 1959), em cujo extrato foram dosados os elementos K, por fotometria de chama, Zn e Fe, por espectrofotometria de absorção atômica e P por colorimetria (LINDEMAN, 1958).

2.1.4. Crescimento

Marcaram-se dez ramos plagiotrópicos primários do terço superior da copa das plantas, por parcela, sendo cinco orientados para o lado leste e cinco para o lado oeste. A expansão da Área foliar foi periodicamente determinada pelo método apresentado por BARROS *et alii* (1973). Simultaneamente mediu-se o comprimento dos ramos.

O estudo do crescimento vegetativo foi realizado em duas fases. Na primeira, os ramos foram marcados no dia

24/08/89 (tempo = 0 dias); e o seu crescimento. tanto em comprimento como em expansão foliar, foi acompanhado por 159 dias, quando começaram a emitir ramificações secundárias. Então os ramos foram trocados. no dia 03/02/90, por outros ~~mais~~ novos. cujo crescimento foi medido por mais 90 dias (segunda fase).

2.1.5. Fotossíntese

As sete dias após a terceira aplicação dos tratamentos, no segundo ano (Janeiro de 1991), quantificou-se a fotossíntese potencial em folhas do terceiro par. localizado em ramos laterais do terço superior da copa das plantas. Utilizou-se o Monitor Biológico de Oxigênio YELLOW-SPRING, modelo 53 CALVES. 1985; CORDEIRO *et alii.* 1985; RODRIGUES, 1988). Na mesma folha em que foi medida a atividade fotossintética, foi determinada a concentração de zinco conforme item 1.3.

2.1.6. Produção

A produção de frutos de cada parcela foi avaliada por dois anos consecutivos, quando 80% dos frutos atingiram o estadio *cereja*. Em seguida à colheita, os frutos foram secos ao sol até atingirem 11% de umidade (café *em côco*). Após remoção da casca, obteve-se o peso do café beneficiado.

2.17. Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, e o efeito dos diversos tratamentos sobre os teores foliares de Zn, Fe, P e K foram avaliados por meio de superfícies de resposta (CALVAREZ v., 1985). O efeito da uréia foi estudado através do desdobramento em graus individuais de liberdade, por meio de contrastes ortogonais (Quadro 3). Foram feitos estudos de regressão da produção de frutos em função dos teores foliares de zinco, do crescimento vegetativo em função do tempo, para os diversos tratamentos, e do crescimento vegetativo em função dos teores de zinco nas folhas, para cada dia de medição. Foi feita correlação linear simples entre a atividade fotossintética e os teores de zinco nas folhas.

QUADRO 3- Coeficientes dos Contrastes Ortogonais Utilizados nas Comparações do Efeito da Ureia.

TRATAMENTO			CONTRASTE			
ZnSO ₄	KCl	URÉIA	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
0	0	0	-4	0	0	0
0,6	0	0	+1	-1	-1	+1
0,6	0	1,0	+1	+1	-1	-1
0,6	0,6	0	+1	-1	+1	-1
0,6	0,6	1,0	+1	+1	+1	+1

C₁ - Efeito do Sulfato de Zinco

C₂ - Efeito da Ureia

C₃ - Efeito do Cloreto de Potássio

C₄ - Interação Ureia x Cloreto de Potássio

2.2 Experimento com Mudas

Utilizaram-se mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) do cultivar Catuaí Vermelho, LCH 2077-2-5-44, com sete meses de idade. As plantas foram submetidas aos tratamentos indicados no Quadro 4, combinados com vários tempos de absorção: 0, 5, 30, 60 e 200 minutos, 1 e 3 dias.

QUADRO 4- Concentrações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio nas Soluções de Pulverização, para os Diversos Tratamentos, no Experimento com Mudas.

TRATAMENTO	ZnSO ₄	KCl
	%	
1	0	0
2	0,2	0
3	0,2	0,2
4	0,6	0
5	0,6	0,6

A todos os tratamentos adicionou-se espalhante adesivo (Agril) a 0.03%.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições, sendo cada unidade experimental constituída por uma planta.

Após as pulverizações, nos devidos tempos de absorção, coletou-se o terceiro par de **folhas**. Essas foram lavadas à semelhança do descrito no item 1.3 e, então, divididas em duas metades a partir da nervura central. As metades das folhas foram reunidas - apenas uma das metades

de cada folha. Procedeu-se, então, à determinação do peso da matéria fresca; em seguida efetuou-se a secagem em estufa de ventilação forçada, por 72 horas, e determinou-se o peso da matéria seca. Nesse material foi feita determinação do teor de zinco total, conforme item ■ 3. Das outras duas metades restantes, tomou-se uma amostra de peso conhecido, que foi macerada em almofariz, em câmara fria a 4 °C, num meio contendo tampão TRIS-HCl 0,05M pH 7,0 e sacarose 0,3M. O extrato obtido foi submetido a fracionamento celular, por centrifugação diferencial, segundo procedimento geral de BONNER (1976), modificado (Figura 1). Cada fração foi evaporada no próprio bloco digestor e, então, digerida com 9 ml de ácido nítrico e 3 ml de ácido perclórico concentrados. O zinco foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados de teor de zinco total e de teor de zinco em cada fração, foram submetidos às análises de variância e de regressão em função do tempo de absorção.

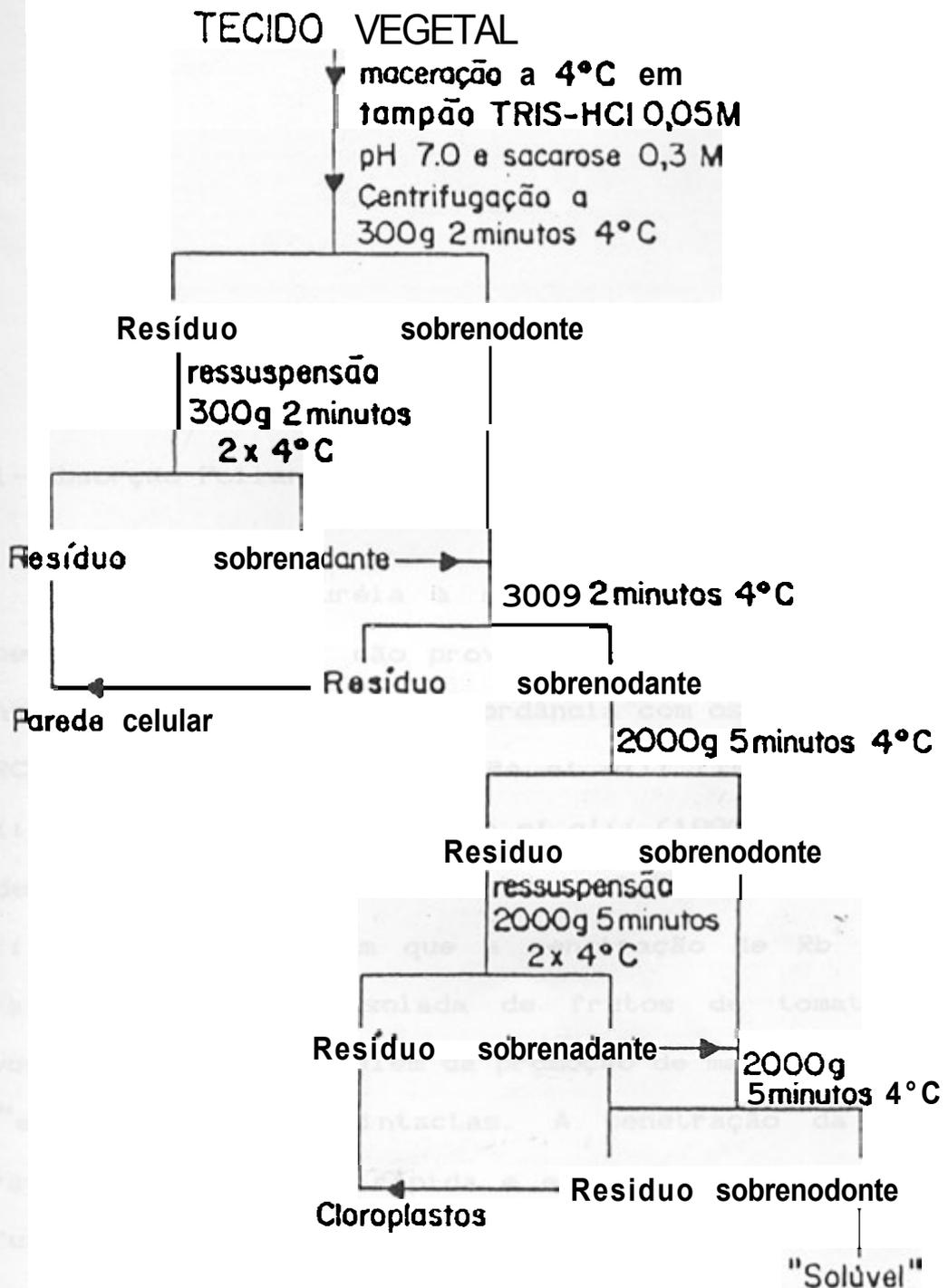


FIGURA 1- Fluxograma da Marcha Analítica Utilizada para o Fracionamento Celular do Zinco, em Tecido Follar de Mudras do Cafeeiros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Absorção Foliar de Zinco - Efeito da Uréia

A adição de uréia à solução de pulverização, no experimento de campo, não provocou aumento na absorção de zinco (Quadros 5 e 6), em concordância com os resultados de GARCIA *et alii* (1980), OLIVEIRA *et alii* (1981), COSTA *et alii* (1989), RENA (1989) e RENA *et alii* (1990), em cafeeiro e de CHRISTENSEN (1986), em videira. Entretanto, YAMADA *et alii* (1965a) observaram que a penetração de Rb^+ e Cl^- , através de cutícula isolada de frutos de tomate, foi favorecida pela uréia, além da promoção de maior influxo de Fe^{3+} e Mn^{2+} em folhas intactas. A penetração da uréia, através da cutícula, é rápida e envolve, primeiramente, a difusão (WITTWER e TEUBNER, 1959; YAMADA *et alii*, 1965a), seguida por uma segunda fase de permeabilidade acentuada. O contrário ocorre com cations e Anions, que possuem apenas uma fase inicial rápida, seguida de taxas progressivamente mais lentas, resultando em penetração menor, em relação a uréia (YAMADA *et alii*

QUADRO 5- Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par. à Epoca da Primeira Pulverização (Agosto), Após 3, 30 e 60 Dias da Aplicação de Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco, Cloreto de Potássio e Uréia na Solução de Pulverização, no Experimento de Campo.

TRATAMENTO			TEMPO (dias)		
ZnSO ₄	KCl	URÉIA	3	30	60
	%		ppm		
0	0	0	7.1	8.1	7.7
0,6	0	0	45.3	50.4	51.2
0,6	0	1,0	53.2	52.7	51.2
0,6	0,6	0	90.1	89.5	91.6
0,6	0,6	1,0	91.9	92.8	88.8

QUADRO 6- Análise de Variância do Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par à época da Primeira Pulverização (Agosto), Após 3, 30 e 60 Dias da Aplicação de Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco, Cloreto de Potássio e Uréia na Solução de Pulverização, no Experimento de Campo.

F. V.	GL	QUADRADOS MEDIOS		
		3	30 dias	60
Bloco	3	48,0	99,5	258,7
C1	1	12.726,0**	12.781,6**	12.867,7**
C2	1	93,1	32,5	1,3
C3	1	6.963,9**	6.280,6**	5.829,3**
C4	1	37,8	1,1	18,9
Sup. Resp.	13	19.976,1**	14.886,8**	19.030,3**
Erro	48	37,6	72,8	169,8
CV (%)		6,7	10,4	15,0

** significativo, a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

C1 - Efeito do Sulfato de Zinco

C2 - Efeito da Uréia

C3 - Efeito do KCl

C4 - Interação Uréia x KCl

Sugere-se que os efeitos positivos atribuídos à uréia, com relação à absorção foliar de ions, sejam devidos a alterações na estrutura da cutícula, com rompimento de ligações éster, éter e dieter entre as macromoléculas de cutina (YAMADA *et alii*, 1965b). Contudo, essa desestruturação requer catálise enzimática (FRANKE, 1967), o que parece pouco provável. Todavia, não foi notado nenhum efeito depressivo da uréia na absorção do zinco, como detectado por BLANCO *et alii* (1972a), trabalhando com tiras foliares de cafeeiro. RENA (1989) relata que o uso da uréia, pulverizada às folhas, pode causar aumento da transpiração e queda do potencial hídrico do cafeeiro, provocando murcha, principalmente em períodos críticos de disponibilidade de água CRENA, 19893.

3.2.- Absorção Folias- de Zinco - Efeito do KCl

O uso de cloreto de potássio elevou significativamente o teor foliar de zinco (Quadros 5 e 6). Esse aumento foi da ordem de 99, 78 e 79% aos 3, 30 e 60 dias após a pulverização, respectivamente. Salienta-se que os teores determinados aos 30 e 60 dias também se referem ao terceiro par de folhas na época da aplicação dos tratamentos. Utilizando tratamentos semelhantes, SANTINATO e CAMARGO (19893) detectaram que o teor de zinco nas folhas de cafeeiros subiu de 30 para 80 ppm, quando se acrescentou 0.6% de cloreto de potássio à calda, com 0.6% de sulfato de zinco, o que equivale a um incremento de 167%. Estudando a eficiência da fonte de zinco, GARCIA e SALGADO (1981)

verificaram que a adição de cloreto de potássio A solução de sulfato de zinco aumentou a eficiência da absorção foliar de zinco pelo cafeeiro, comparativamente à aplicação isolada de sulfato, cloreto, nitrato ou quelato de zinco. RENA *et alii* (1990) observaram aumento de 4 vezes no teor de zinco. quando se aplicou cloreto de potássio em conjunto com sulfato de zinco . Já COSTA *et alii* (1989) citam que o cloreto de potássio foi ineficiente em promover maior absorção foliar de zinco pelo cafeeiro. o mesmo sendo registrado por ABRAHÃO e ALMEIDA (1989). Entretanto, ABRAHÃO *et alii* (1990), em trabalho posterior, concluíram que a adição de cloreto de potássio elevou, em média, o acúmulo de zinco em 167%. O efeito do cloreto de potássio foi estudado mais detalhadamente com a Matriz Experimental Box-Berard, aumentada 3. Nas Figuras 2, 3 e 4, visualiza-se efeito significativo da adição de cloreto de potássio, promovendo maior teor foliar de zinco, tanto aos tres como aos 30 e 60 dias, após aplicação dos tratamentos, nas tres épocas de pulverização do primeiro ano. Efeito mais pronunciado do KCl foi observado na segunda aplicação, quando foi acrescentado oxiclreto de cobre A calda. embora os teores foliares de zinco tenham sido menores, o que será discutido posteriormente.

De acordo com FRANKE (1967), o processo de absorção foliar ocorre em tres estádios: 1- penetração através da cutícula e parede celular, via difusão limitada ou livre, 2- adsorção à superfície da membrana plasmática e 3- penetração no citoplasma, por um processo dependente de

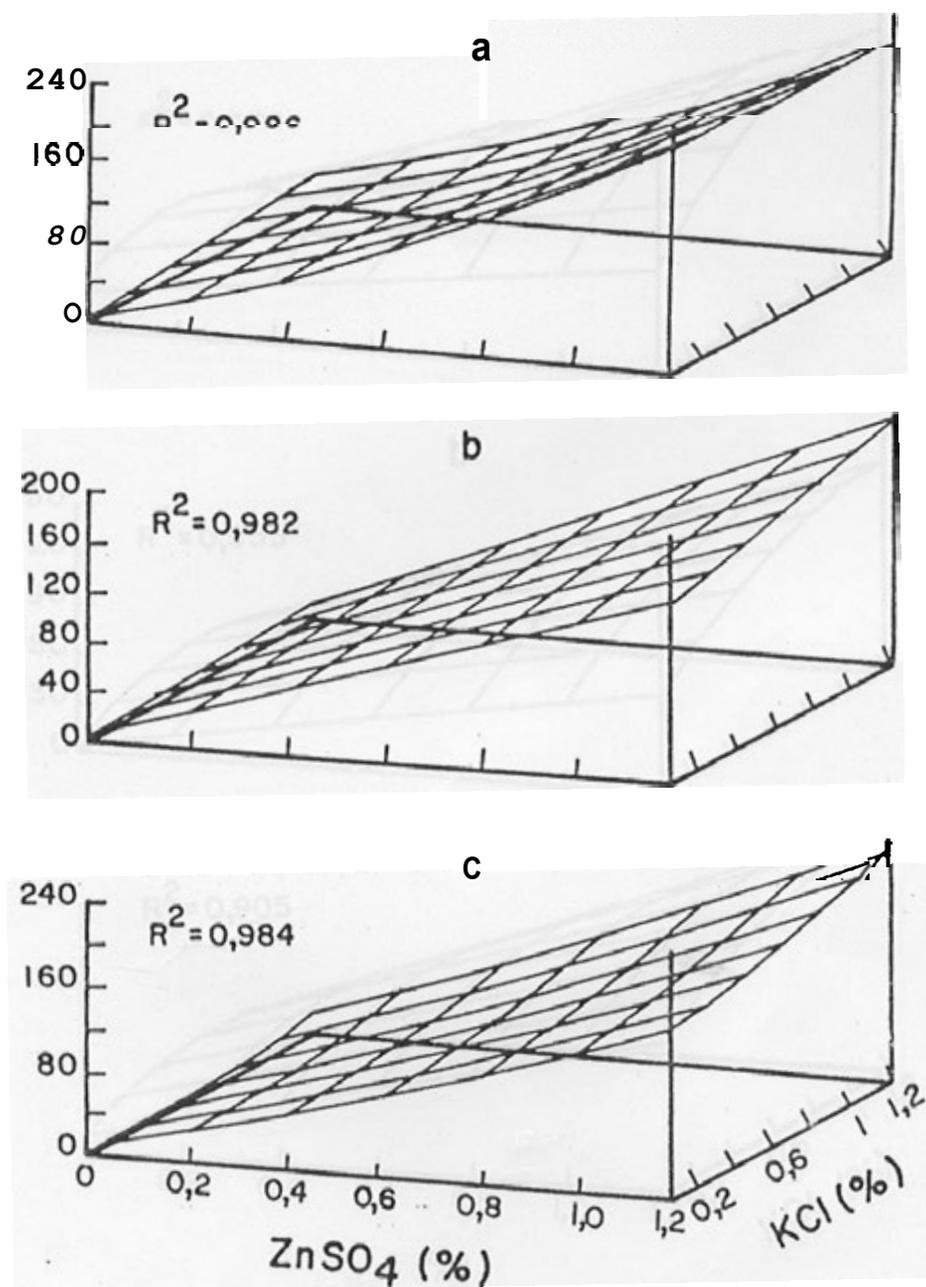


FIGURA 2- Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par. à Época da Primeira Pulverização (Agosto), em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco e de Cloreto de Potássio na Solução de Pfl... 3 (a), 30 (b) e 60 (c) Dias Tratamentos.

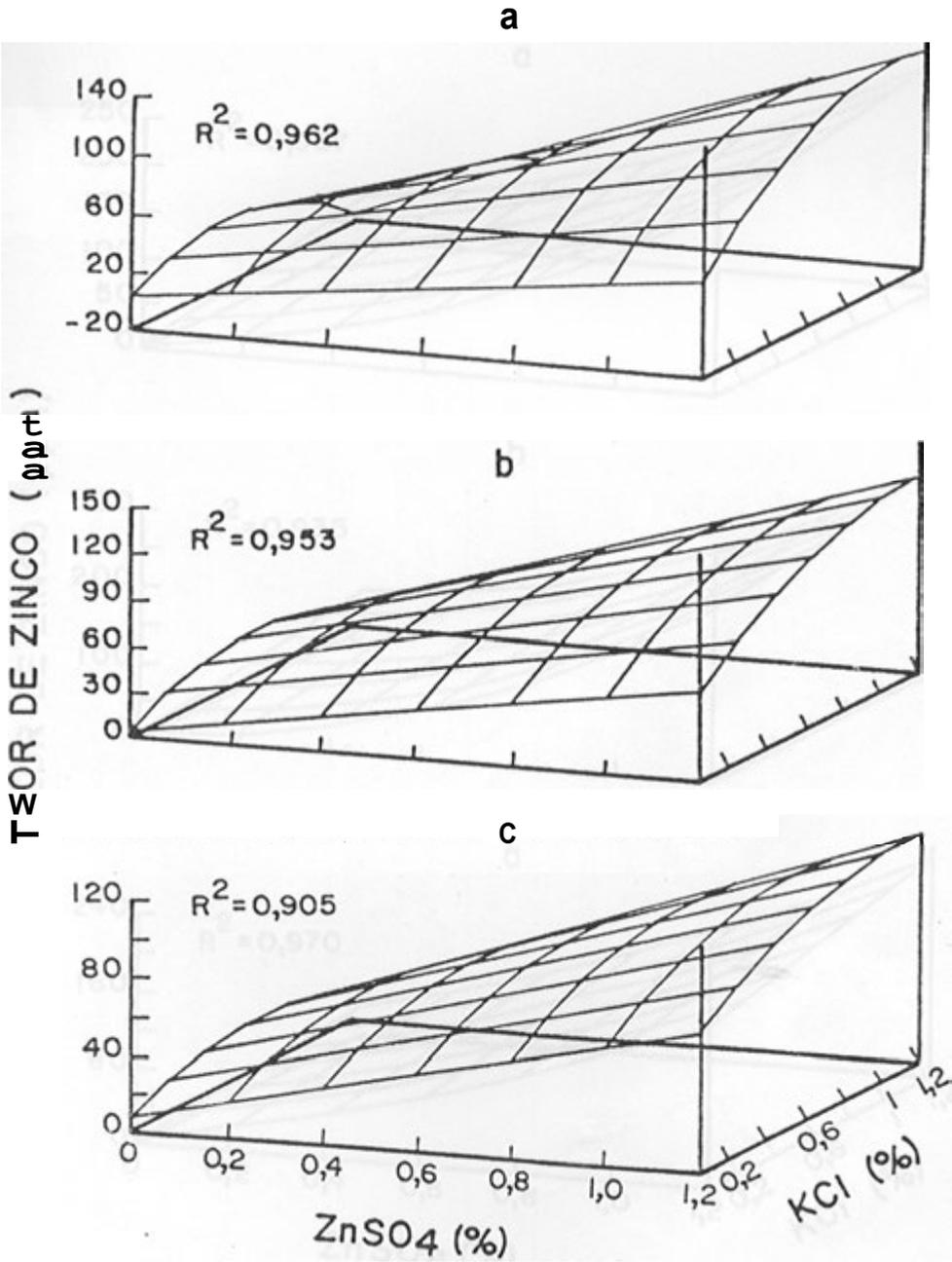


FIGURA 3- Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par. à Época da Segunda Pulverização (Novembro), em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco e de Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, Após 3 (a), 30 (b) e 60 (c) Dias da Aplicação dos Tratamentos.

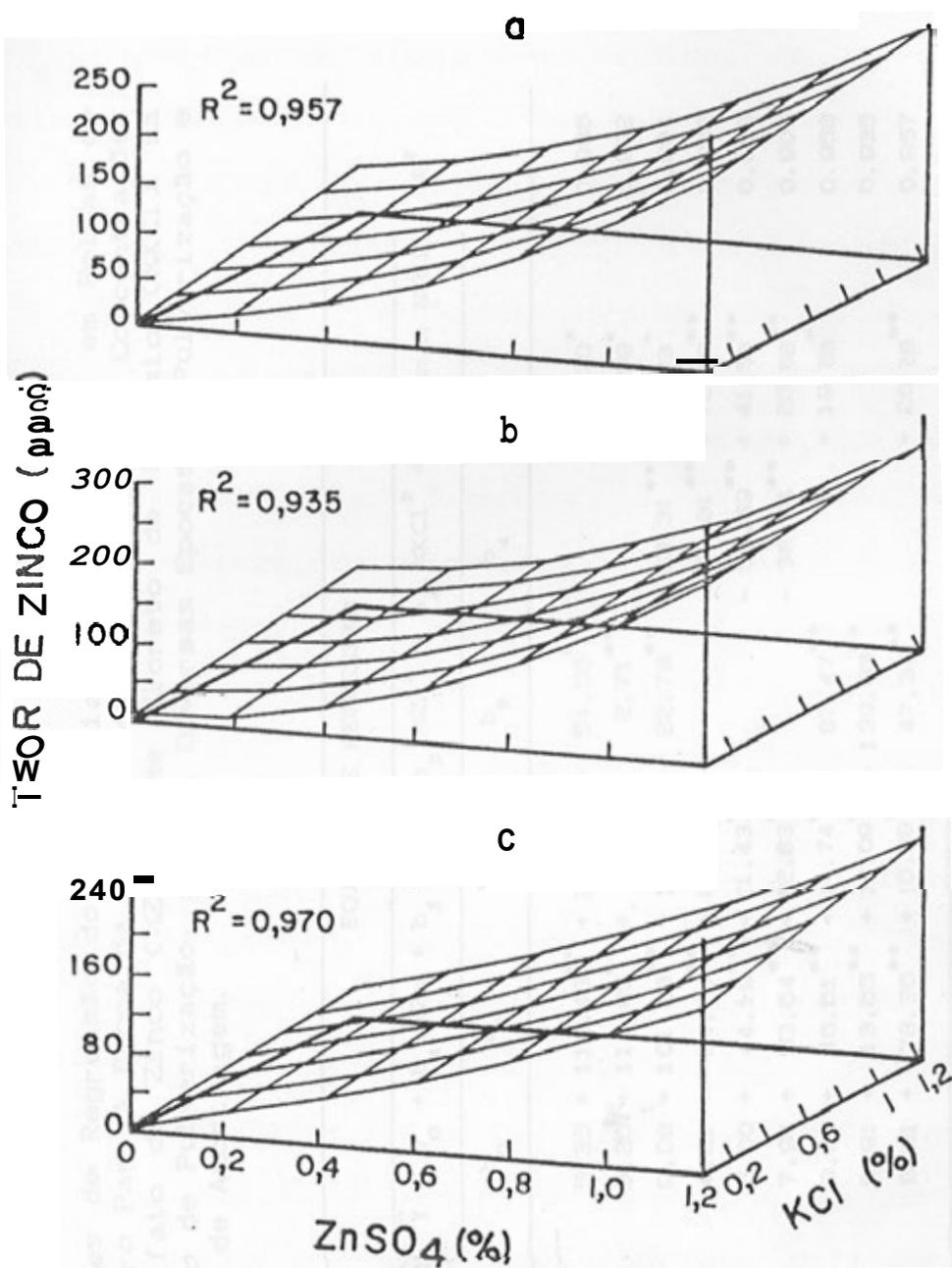


FIGURA 4- Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par, à Época da Terceira Pulverização (Janeiro), em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco e de Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, Após 3 (a), 30 (b) e 60 (c) Dias da Aplicação dos Tratamentos.

QUADRO 7- Equações de Regressão do Teor Foliar de Zinco (ppm) em Folhas do Terceiro Par. à Época da Pulverização, em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco (%Zn) e de Cloreto de Potássio (%KCl) na Solução de Pulverização, para as Diversas Épocas de Pulverização e Tempos de Amostragem.

		EQUAÇÕES DE REGRESSÃO						
PULVERIZAÇÃO	TEMPO	$Y = b_0 + b_1 \cdot \%Zn + b_2 \cdot \%KCl + b_3 \cdot \%Zn^2 + b_4 \cdot \%KCl^2 + b_5 \cdot \%Zn \times \%KCl$						R ²
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	
	dias							
Primeira	3	5.35	+ 112,43**	+ 22,30**	+ 54,56**		- 20,30*	0,986
	30	5.26	+ 113,95**	+ 6,07**	+ 2,71**		+ 30,09.	0,982
	60	9,08	+ 101,28**	- 16,72**	+ 22,78**	+ 23,31**	+ 37,93 ^x	0,984
Segunda	3	4.21	+ 34,74**	+ 80,85**		- 80,81**	+ 72,48**	0,962
	30	5.60	+ 44,19**	+ 71,43**		- 53,59**	+ 41,56**	0,953
	60	7.94	+ 53,64**	+ 52,83**		- 38,64**	+ 25,68**	0,905
Terceira	3	9.26	+ 46,61**	+ 24,74**	+ 87,47**		+ 19,28	0,958
	30	8.91	+ 13,65**	+ 33,09**	+ 139,83**			0,935
	60	8.61	+ 78,36**	+ 16,88**	+ 47,34**		+ 26,28**	0,957

*, **, significativo a nível de 10, 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F.

energia metabólica. Desta forma, o cloreto de potássio pode exibir Seus efeitos em uma ou mais dessas fases.

O processo de penetração de ions na cutícula é passivo e não requer energia metabólica (KANNAN, 19803, ocorrendo via rotas hidrofílicas, simplesmente por difusão (FRANKE, 1967; Mc FARLANE e BERRY, 1974; KANNAN, 1980). SCHONHERR e BUKOVAC (19703 demonstraram que as cutículas possuem poros com regiões polares, compostos por ácidos poliurônicos associados à celulose e à pectina, por cutina, que é fracamente polar devido a grupos hidroxílicos e grupos carboxílicos não esterificados, e por algumas ceras com substituições polares. Esses poros são criados durante o processo de biossíntese da cutícula. quando substancias hidrofílicas tendem a agrupar-se para atingirem um estado energético mais estável (SCHONHERR e BUKOVAC, 1970).

Recentemente foi demonstrado que o movimento de ions através desses poros. em cutículas isoladas, não é determinado apenas por diferença de concentração, mas também por fatores elétricos (TYREE *et alii*, 1990b). No caso do íon Zn^{2+} , em particular, verificaram um aumento de 4 a 7 vezes na força motora ao seu fluxo, quando se consideraram fatores elétricos além da diferença de concentração. Foi demonstrado por TYREE *et alii* (1990a) que o uso de soluções de cloreto de potássio gera um potencial de difusão entre os dois lados de cutículas isoladas. Nesse modelo, a parede dos poros possui carga líquida negativa. com uma dupla camada elétrica adjacente a essas cargas. a qual atrai cátions e exclui anions. Utilizando-se soluções diluidas de cloreto de potássio (pequena força iônica), a

razão de permeabilidade do K^+ para o Cl^- ($P_K:P_{Cl}$) é elevada, ou seja, a difusão do potássio é maior que a do cloreto, o que gera um potencial de difusão positivo. Entretanto, os autores observaram que, aumentando-se a força iônica da solução, ocorre um decrescimento na espessura da dupla camada elétrica, diminuindo a exclusão de ânions; o que ocasiona um aumento substancial da permeabilidade do Cl^- , através dos poros cuticulares (queda acentuada na relação $P_K:P_{Cl}$). Desse modelo, duas considerações podem ser extraídas. Primeiro, o uso de cloreto de potássio em soluções com elevada força iônica, como no caso das pulverizações realizadas neste trabalho, poderia permitir uma elevada permeabilidade cuticular ao Cl^- , através da qual ocorreria o estabelecimento de uma diferença de potencial de difusão negativa entre os dois lados da cutícula. Isso facilitaria a penetração de cations presentes na solução, entre eles o Zn^{2+} , através da cutícula. Segundo, mesmo que o potencial gerado seja positivo e, assim, a penetração do zinco seja dificultada, pode-se considerar que a sua retenção pelas cargas negativas da cutícula torne-se mais elevada; o que pode, posteriormente, aumentar a sua absorção, uma vez que sugere-se existir uma relação direta entre a retenção de ions pela cutícula e a sua absorção posterior (FERRANDON e CHAMEL, 19881. Também YAMADA *et alii* (19641 observaram uma associação direta entre a penetração do ion, de uma superficie à outra da cutícula, e a sua capacidade de ligação no lado oposto. Nesses aspectos, cations divalentes levam vantagem em relação aos monovalentes, uma vez que a

capacidade de troca de ions apresentada pela cuticula é tanto maior quanto maior a valência do ion (SCHONHERR e BUKOVAC, 1973).

Os dados de penetração cuticular, utilizando cutículas isoladas, devem ser, entretanto, analisados com bastante cuidado; uma vez que as condições de penetração *in vivo* e *in vitro* são muito diferentes quando se considera a hidratação da cutícula, a evaporação do material aplicado e, especialmente, a natureza do receptor, o qual é muito mais complexo *in vivo* (CHAMEL e GAMBONNET, 1982). Além disso, o isolamento altera o arranjo intracuticular entre lípidios e moléculas de água. Uma vez que a penetração de ions segue a rota da Água, e que esta via depende da composição dos lípidios solúveis, o isolamento pode alterar profundamente a marcha de entrada de ions através da cutícula (KANNAN, 1980).

Após vencer a barreira imposta pela cutícula, os ions movimentam-se livremente no apoplasto foliar, sem nenhuma restrição, até o ponto de entrada no simplasto celular, o que caracteriza a absorção propriamente dita. Vale ressaltar que os mecanismos que governam a absorção radicular e foliar de ions, a nível de membrana plasmática, são essencialmente os mesmos (WITTWER e TEUBNER, 1959).

Os fatores que acarretaram a maior absorção de zinco, quando se adicionou cloreto de potássio à solução, também podem estar relacionados a um efeito deste sal, ou dos seus ions componentes, na fase de penetração da membrana plasmática. Foi observado por PITMAN (1971) que o influxo de Na^+ , em raízes de cevada, aumentou

proporcionalmente ao logaritmo da concentração de KCl na solução externa. na faixa de atuação do mecanismo dois $C > 0,5$ mM, no qual é grande a influencia do Anion acompanhante sobre a absorção do cation. Esse fato foi atribuído ao influxo e efluxo ativos de Cl^- e H^+ , respectivamente. Dessa forma, pode-se sugerir que o íon Cl^- seria absorvido ativamente, por bombas eletrogênicas específicas, o que enriqueceria o citoplasma com cargas negativas, gerando, assim, um potencial eletrogênico negativo. Como consequência, haveria o influxo passivo de cations. como o Zn^{2+} e o K^+ . Como a concentração interna de zinco é muito menor que a de potássio, nota-se bem mais facilmente o incremento no teor daquele elemento; ou seja, um aumento de 90 μg de Zn/g de MS equivale a um incremento de 54 μg de K/g de MS, ou 0.005%. considerando-se a penetração dos dois cations numa relação de 1:1. Assim, os teores de potássio não se modificariam em função dos tratamentos (Quadro 8).

Uma outra hipótese para explicar o efeito do cloreto de potássio na absorção de zinco, também a nível de membrana plasmática, esta associada a alterações provocadas por sais inorgânicos na permeabilidade de membranas. POOVAIAH e LEOPOLD (1976) observaram que cations monovalentes aumentam a permeabilidade de membranas celulares de raízes de beterraba e de discos foliares de *Rumex*, principalmente o NH_4^+ e o K^+ . Entretanto, cations divalentes provocaram efeito contrário, destacando-se, nesse caso o Ca^{2+} . Entre os Anions, os mesmos autores constataram pequenos efeitos, comparativamente aos

QUADRO 8- Teor de Potássio em Folhas do Terceiro Par, à época da Primeira Pulverização (Agosto), Após 3 e 60 Dias da Aplicação de Diferentes Concentrações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, no Campo.

TRATAMENTO		K	
ZnSO ₄	KCL	3	60
		dias	
(%)		(%)	
0,27	0,27	2,29	2,30
0,27	0,93	2,25	2,27
0,93	0,27	2,33	2,26
0,93	0,93	2,25	2,33
0,10	0,60	2,28	2,31
1,10	0,60	2,20	2,26
0,60	0,10	2,28	2,24
0,60	1,10	2,27	2,28
0,00	0,27	2,29	2,24
0,27	0,00	2,27	2,20
1,20	0,93	2,27	2,27
0,93	1,20	2,29	2,26
0,60	0,60	2,25	2,32
0,00	0,00	2,32	2,32

cations, sobressaltando-se o PO_4^{3-} e o Cl^- . De acordo com POOVAIAH e LEOPOLD (1976), a influencia dos cations e anions esta associada à desestabilização-estabilização da membrana celular, tornando-a mais ou menos permeável a solutos, iônicos ou não, o que envolve mudanças nas interações Agua de solvatação-macromoléculas (proteínas principalmente). Assim, pode-se inferir que tanto o K^+ como o Cl^- poderiam operar nesse mecanismo, em uma ação conjunta de "afrouxamento" da membrana plasmática, o que permitiria um maior influxo do íon Zn^{2+} .

Comparando-se a Figura 3 com as Figuras 2 e 4, percebe-se que, na segunda aplicação (Figura 2), houve menor absorção do zinco, caracterizada pelos menores teores obtidos. Pode-se atribuir tal observação ao uso de oxicloreto de cobre naquela época. Interações entre Zn e Cu, durante o processo de absorção, são bastante relatadas na literatura. CHAMEL e GAMBONNET (1982) observaram que a retenção de zinco pela cutícula é menor na presença de cobre, sugerindo uma alta afinidade cuticular pelo cobre. MALAVOLTA (1980) cita que a presença de cobre diminui em 50% a absorção foliar de zinco, o mesmo sendo observado por BLANCO *et alii* (1972a), em tecido foliar de cafeeiro. O uso de oxicloreto de cobre, além de resultar em teores foliares menores, também tornou mais lenta a marcha de absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiros (CORDEIRO *et alii*, 1990). Provavelmente o zinco e o cobre concorrem pelos mesmos sitios carreadores, resultando em interferencia competitiva (BLANCO *et alii*, 1972a; BOWEN, 1981). Talvez esse antagonismo esteja relacionado com o raio iônico

bastante similar do Zn^{2+} (0,69 Å) e do Cu^{2+} (0,72 Å) (CLARKSON e HANSON, 19803).

Na Figura 5, visualiza-se um efeito bem mais pronunciado do cloreto de potássio, ao ser incluído oxiclreto de cobre à solução de pulverização (Figura 5b), embora os teores foliares de zinco, de maneira geral, tenham sido menores. Na ausência de KCl, para se atingir 30 ppm de Zn, aos três dias após a primeira e terceira pulverizações (Figuras 5a e 5c, respectivamente), foram necessárias as concentrações de 0,20 e 0,29% de sulfato de zinco, respectivamente; ao passo que, na segunda aplicação (Figura 5b), precisou-se de 0,74% de sulfato de zinco, dado o efeito competitivo do cobre. Contudo, com a adição de 0,5% de cloreto de potássio, constata-se que, na primeira e terceira pulverizações, a concentração de sulfato de zinco caiu para 0,12%, enquanto na segunda, com cobre, caiu para 0,14% de sulfato de zinco. Assim, no exemplo citado, a efetividade do KCl foi de 40 a 59% na ausência e de 80% na presença de oxiclreto de cobre. Concordantemente, CORDEIRO *et alii* (19903) citam que o uso de cloreto de potássio diminui o efeito antagônico exercido pelo cobre na absorção foliar de zinco.

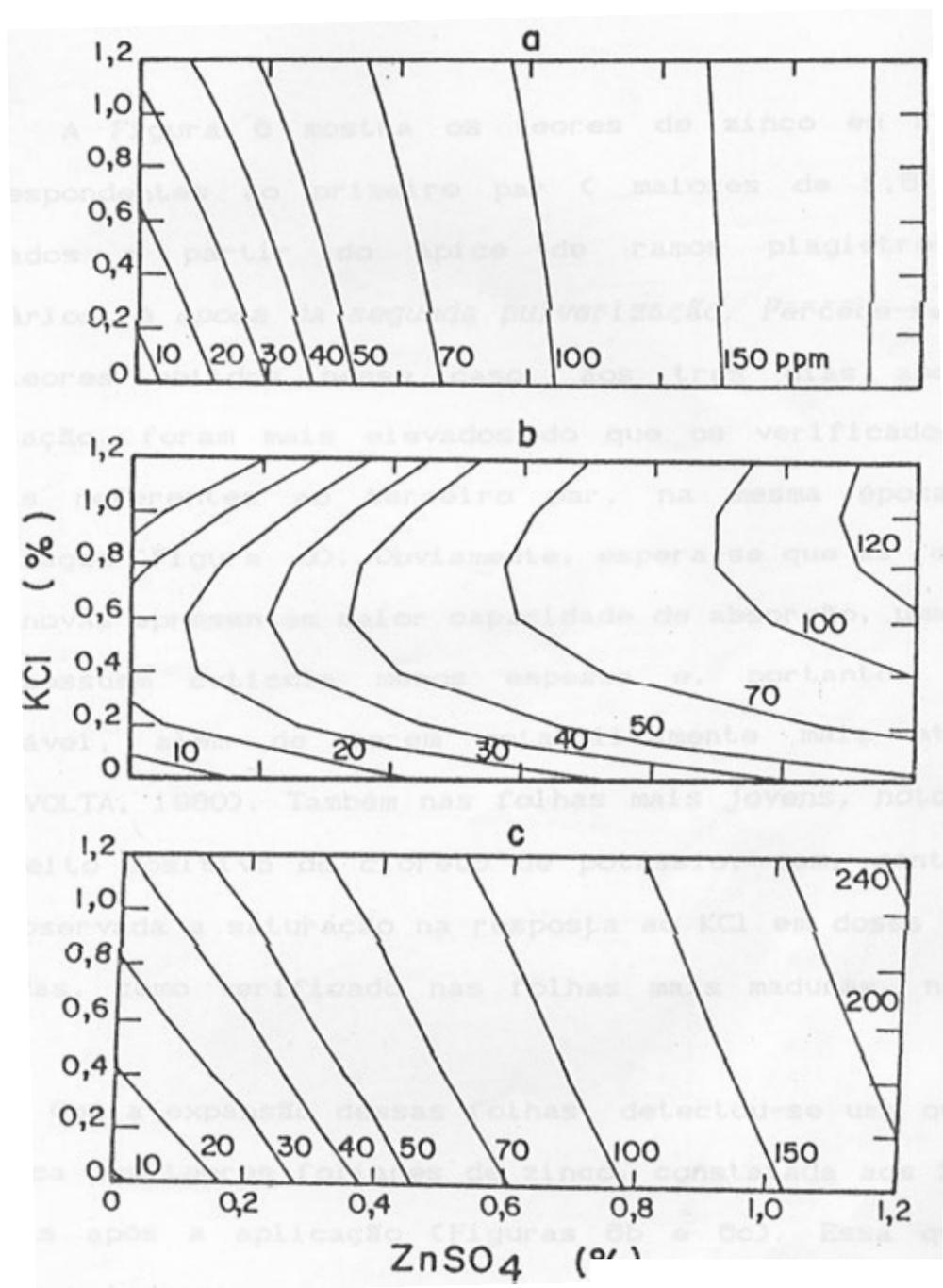


FIGURA 5- Isoquantas dos Teores Folhas do Terceiro Par à em Função das Concentraçõ e de Cloreto de Potá Pulverização, Três Dias Segunda (b) e Terceira (c)

3.3- Mobilidade do Zinco

A Figura 8 mostra os teores de zinco em folhas correspondentes ao primeiro par C maiores de 1,5 cm, contados a partir do ápice de ramos plagiotrópicos primários, à época da segunda pulverização. Percebe-se que os teores obtidos nesse caso, aos três dias após a aplicação, foram **mais** elevados do que os verificados em folhas referentes ao terceiro par. na mesma época de amostragem (Figura 31. Obviamente, espera-se que as folhas **mais** novas apresentem maior capacidade de absorção, uma vez que possuem cutícula menos espessa e, portanto, **mais** permeável, além de serem metabolicamente **mais** ativas (MALAVOLTA, 1980). Também nas folhas mais jovens, notou-se um efeito positivo do cloreto de potássio, sem, contudo, ser observada a saturação na resposta ao KCl em doses mais elevadas, como verificado nas folhas mais maduras, nessa época.

Com a expansão dessas folhas, detectou-se uma queda drástica nos teores foliares de zinco, constatada aos 30 e 60 dias após a aplicação (Figuras 8b e 8c). Essa queda ocorreu unicamente como resultado da diluição do zinco. com o crescimento foliar, uma vez que não foi detectada translocação do zinco das folhas que receberam a pulverização para as folhas novas, que surgiram após a aplicação dos tratamentos. como SERÁ discutido a seguir.

Nota-se nas Figuras 2, 3 e 4, que os teores foliares de zinco, observados aos 3 dias, não se modificaram aos 30 e 60 dias após as pulverizações; isso indica não ter havido

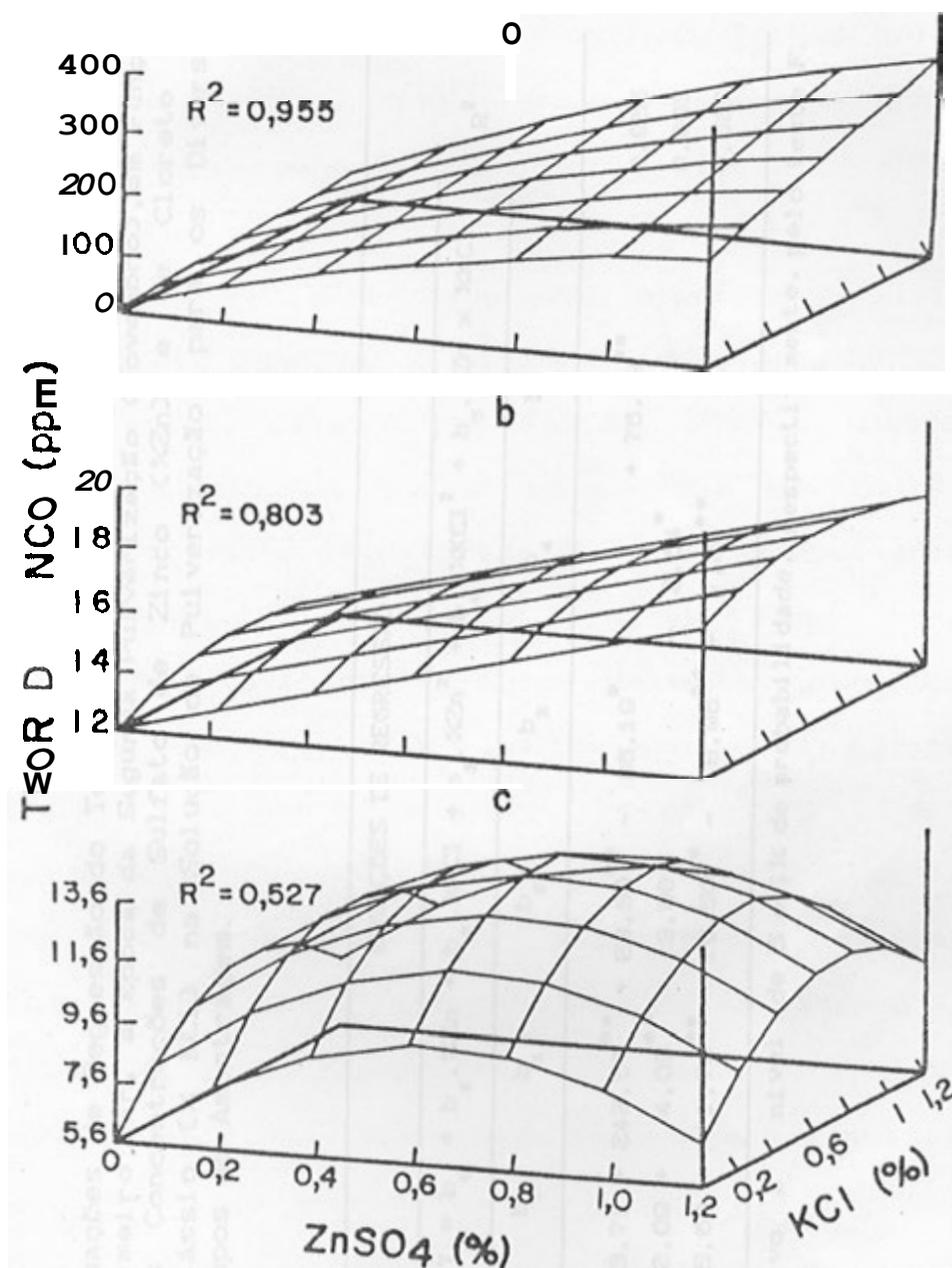


FIGURA 6– Teor de Zinco em Folhas do Primeiro Par, à Época da Segunda Pulverização (Novembro), em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco e de Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, Após 3 (a), 30 (b) e 60 (c) Dias da Aplicação dos Tratamentos.

QUADRO 9- Equações de Regressão do Teor Foliar de Zinco (ppm), em Folhas do Primeiro Par, à época da Segunda Pulverização (Novembro), em Função das Concentrações de Sulfato de Zinco (%Zn) e de Cloreto de Potássio (% KCl) na Solução de Pulverização, para os Diversos Tempos de Amostragem.

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO							
TEMPO	$\hat{Y} = b_0 + b_1 \%Zn + b_2 \%KCl + b_3 \%Zn^2 + b_4 \%KCl^2 + b_5 \%Zn \times \%KCl$						R^2
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
dias							
3	13.71	+ 242,57**	+ 23,80**	- 86,19*		+ 76,19**	0.955
30	12.09	+ 4,09**	+ 3.60		- 2,64*		0.803
60	5,68	+ 11,76**	+ 10,50**	- 8,88**	- 7,26**		0,527

*, ** significativo a nível de 5 e 1% de probabilidade. respectivamente, pelo teste F.

exportação do zinco da folha madura, que recebeu o tratamento, para outras folhas, seja basípeta ou acropetamente. Deve-se salientar que as folhas coletadas aos 3, 30 ou 60 dias, após a pulverização, representaram sempre o terceiro ou o primeiro par. à época da aplicação dos tratamentos.

O zinco é classificado como elemento parcialmente móvel na planta (BUKOVAC e WITTWER, 1957; MALAVOLTA, 1980; Kannan e Keppel, citados por KANNAN, 1986). Contudo, os dados apresentados no Quadro 10 indicam uma baixíssima mobilidade, ou mesmo imobilidade do zinco, quando aplicado a uma folha madura, em direção a outras folhas, surgidas posteriormente. As folhas correspondentes ao terceiro par, à época da pulverização, que receberam a aplicação, possuíam elevados teores de zinco, conforme o tratamento (V no Quadro 10, Figuras 2, 3 e 4); ao passo que as folhas surgidas após a aplicação, no mesmo ramo, apresentavam baixos teores de zinco, independente do tratamento (N no Quadro 103. Ou seja, não ocorreu exportação de zinco, após ser absorvido por uma determinada folha, pelo menos até os 60 dias. Resultado semelhante foi encontrado por RENA *et alii* (1990), onde os teores no terceiro par, pulverizado, foram sempre maiores que que no segundo ou quarto pares não pulverizados. Descrevem, ainda, que não houve diferença entre a concentração de zinco no segundo ou quarto pares e a testemunha. THORNE (1953) relata que o Zn, como o Fe e o Ca, não é retranslocado de folhas velhas para as mais jovens durante o crescimento.

O CAFEALTO
CRESCIMENTO

QUADRO 10- Teor de Zinco aos 60 Dias Após a Primeira e Terceira Pulverizações, em Folhas do Terceiro Par, à Epoca da Aplicação (V) e do Terceiro Par Verdadeiro, à Epoca da Amostragem (N).

TRATAMENTO		PULVERIZAÇÃO			
		PRIMEIRA		TERCEIRA	
ZnSO ₄	KCl	V	N	V	N
<i>cm</i>		(ppm)			
0,27	0,27	46.3	11.3	40.7	10.0
0,27	0,93	55.1	11.7	64,8	9.9
0,93	0,27	141.7	11,0	116.0	10,2
0,93	0,93	154,7	10.5	142,1	10,0
0,10	0,60	28.3	10,2	20.7	10,1
1,10	0,60	215,4	10,8	195.6	10,2
0,60	0,10	100.3	10,4	85,1	9,9
1,60	1,10	112,0	10.4	118.2	10,3
0,00	0,27	7,2	9,8	10.8	10,0
0,27	0,00	40,1	10,5	28,3	10.2
1,20	0,93	212.1	10,6	264,2	9.9
0,93	1.20	158.3	10,4	161,4	10.3
0,60	0,60	93,1	10,8	108,8	9.6
1.00	0.00	7.7	10,6	8,3	9.9

V. Folhas correspondentes ao terceiro par verdadeiro, à época da primeira pulverização e sexto ou sétimo par verdadeiro, à época da terceira pulverização.

N. Folhas que não existiam à época da primeira pulverização e correspondentes ao terceiro par verdadeiro, à época da terceira pulverização.

Entretanto, os resultados mostrados no Quadro 10 são incompatíveis com o que é descrito por MULLER (1966), segundo o qual ocorre translocação para o ápice, em um mesmo ramo do cafeeiro, corrigindo deficiências dos novos surtos de crescimento, se um ramo deficiente for pulverizado.

BUKOVAC e WITTEW (1957) classificam o zinco como elemento parcialmente móvel, sem, contudo, constatar transporte deste mineral a partir de folha do feijoeiro que recebeu, mas tão somente confinado ao tecido foliar adjacente à zona de aplicação. Foi também observado, por PEASLEE *et alii* (1981), que 86-90% do ^{65}Zn aplicado a folhas maduras de milho permaneceram na área tratada, após 72 horas. Estudando a translocação de vários compostos em café, PEREIRA *et alii* (1963) concluíram que o ^{65}Zn se move em menor proporção no cafeeiro que em outras plantas.

A imobilidade do zinco aplicado às folhas de cafeeiros deve estar relacionada ao pequeno transporte desse mineral no floema, ou à forma com que o mineral se encontra no tecido vegetal. RAMANI e KANNAN (1985) detectaram que, embora a redistribuição do zinco, a partir de folhas primárias do feijoeiro, fosse insignificante, o zinco presente no caule dessas plantas encontrava-se em uma forma mais móvel, talvez como quelatos de ácidos orgânicos, da mesma forma que ocorre com o ferro. Também CLARKSON e HANSON (1980) citam que a baixa mobilidade do zinco pode estar relacionada à sua pequena capacidade de ligação a quelatos aniônicos. Assim, o zinco aplicado via folhas, utilizando-se o sulfato de zinco, provavelmente deve

permanecer nas folhas na forma de ions livres, o que então dificultaria o seu transporte .

FERRANDON e CHAMEL (1981) constataram maior mobilidade do zinco. quando aplicado na forma de Zn-EDTA, sugerindo que o EDTA exerce o papel de um carreador natural, como o citrato para o ferro.

3.4- Marcha de Absorção Foliar e Localização Subcelular do Zinco em Mudas de Cafeeiro

A Figura 7 mostra as curvas de absorção foliar de zinco, em função do tempo, por mudas de cafeeiros. Percebe-se que, para todos os tratamentos. houve uma fase inicial de absorção mais rápida, seguida por taxas decrescentes. CORDEIRO *et alii* (1990) registram que, após três horas, 64% do zinco havia sido absorvido, o que se assemelha bastante aos resultados aqui apresentados (Quadro 11), onde se vê que, após tres horas, a percentagem absorvida variou de 57% a 74%. Nota-se que o uso de cloreto de potássio acelerou a absorção inicial e que o tempo necessário para atingir 80% da absorção máxima caiu de 8,6 para 4.1 horas e de 11,7 para 8,2 horas, quando se adicionou 0,2 e 0,6% de KCl, respectivamente, às caldas com 0,2 e 0,6% de $ZnSO_4$. O tempo para atingir a quantidade máxima absorvida variou de 23,5 a 49.5 horas, bem próximo à variação de tempo encontrada por CORDEIRO *et alii* (1990), de 27 a 36 horas.

Os resultados apresentados no Quadro 11 têm grande importância pratica, no que diz respeito à ocorrência de

chuvas após a pulverização de lavouras comerciais de cafeeiros, pois com apenas 3 horas após a aplicação, as plantas haviam absorvido cerca de 60% do seu potencial de absorção.

QUADRO 11- Tempo de Absorção para se Atingir o Teor Máximo (TT100), 80% do Teor Máximo de Zinco (TT80), Teor de Zinco Após 3 Horas de Absorção (Zn3) e Percentagem que esse Teor Representa em Relação ao Teor Máximo (%RT100), em Mudas de Cafeeiros.

RATAMENTO		TT100	TT80	Zn3	%RT100
ZnSO ₄	KCl				
—	—	—	—	—	—
—	—	(horas)	—	(ppm)	(%)
0,2	0	49,5	8.6	37	66
0,2	0,2	23,5	4.1	68	74
0,6	0	49,3	11.7	53	57
0,6	0,6	37.0	8,2	125	61

BLANCO *et alii* (1972a) afirmaram que a absorção de Zn, por tiras foliares de cafeeiros, é rápida até 40 minutos e, posteriormente, mais lenta. Sugeriram ser este um processo ativo, uma vez que a absorção foi inibida pelo O₂, pela ausência de luz, pelo pH baixo e foi afetada pela temperatura (Q₁₀ = 1,54). Em folhas inteiras, BLANCO *et alii* (1971) registraram que a velocidade de absorção de zinco é ascendente, nas 24 horas iniciais, tendendo a estabilizar-se, nas 24 horas seguintes. Já para o tecido foliar de cana-de-açúcar, a absorção de zinco foi linear com o tempo por apenas uma hora (BOWEN, 1981).

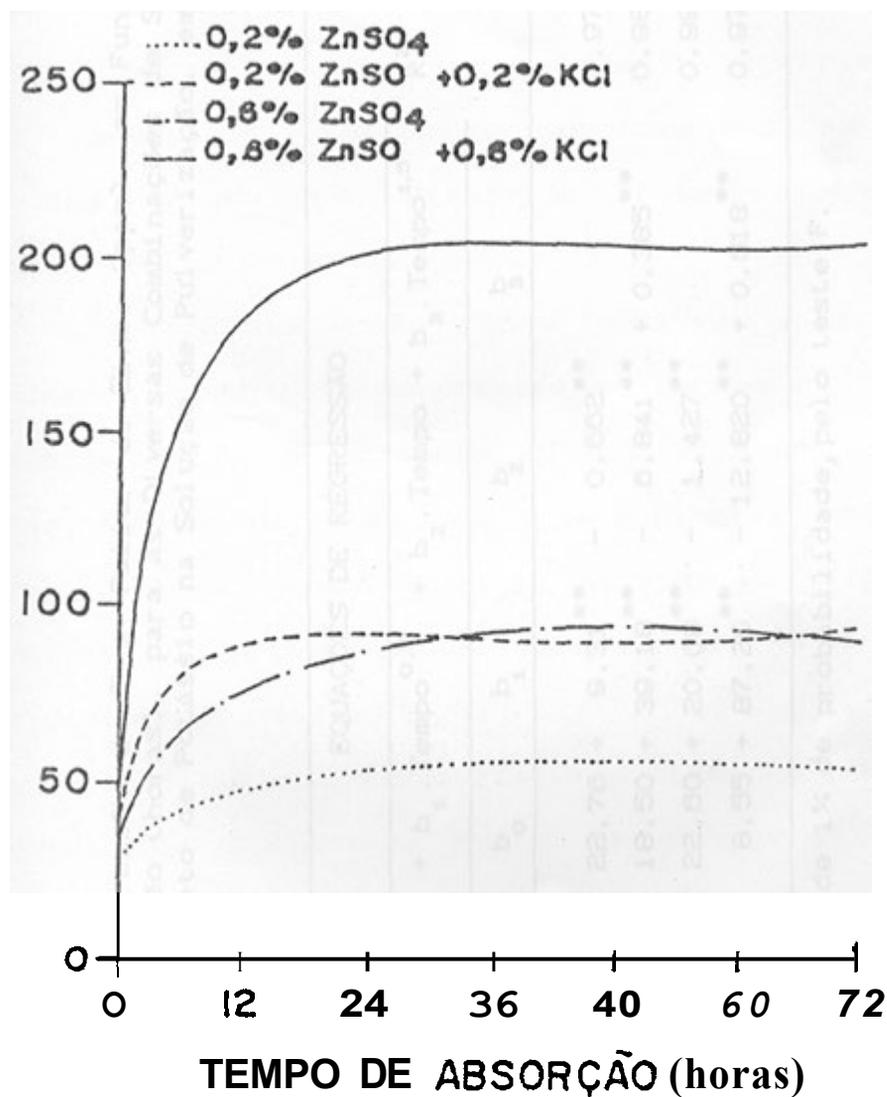


FIGURA 7- Teor de Zinco nas Folhas, em Função do Tempo de Absorção Foliar de Zinco por Mudas de Cafeeiro, para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização.

QUADRO 12- Equações de Regressão do Teor Foliar de Zinco (ppm), em Função do Tempo de Absorção (horas), para as Diversas Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, em Mudanças

TRATAMENTO		EQUAÇÕES DE REGRESSÃO				R ²
ZnSO ₄	KCl	$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot \text{Tempo}^{0,5} + b_2 \cdot \text{Tempo} + b_3 \cdot \text{Tempo}^{1,5}$				
	%	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	
0.2	0	22.76	+ 9,31**	- 0,662**		0.979
0,2	0,2	18.50	+ 39,18**	- 6,841**	+ 0,385**	0,987
0.6	0	22.60	+ 20,08**	- 1,427**		0.997
0.6	0,6	8.55	+ 87,29**	- 12,820**	+ 0,618**	0,975

** significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

Do exposto até aqui, verifica-se a grande eficiência na absorção de zinco pelas folhas de cafeeiros, principalmente na presença de cloreto de potássio, bem como a imobilidade desse mineral, a partir das folhas que o recebem. Alcançaram-se, desta forma, teores foliares de zinco extremamente elevados, dependendo do tratamento, os quais resultaram, inclusive, em toxidez às plantas, refletida na produção final de frutos, conforme será discutido posteriormente.

Contudo, até então não é possível afirmar se as quantidades absorvidas, expressas em termos de teor total de zinco, estão prontamente disponíveis ao metabolismo celular, a nível de citoplasma e de organelas subcelulares, onde o zinco exerce suas atividades fisiológicas essenciais, ou provoca danos desastrosos, se presente em quantidades supra-ótimas.

Pela Figura 8, visualiza-se a distribuição do zinco absorvido por folhas de mudas de cafeeiros, entre as frações parede celular, cloroplastos e "solúvel", a última englobando suco celular, vacuolar e organelas subcelulares, com excessão dos cloroplastos. Em geral, nota-se um aumento inicial bastante rápido do zinco presente na parede, para todos os tratamentos, com máximo em torno de 20 horas, exceto para o tratamento 0,2% $ZnSO_4$, o qual levou 34,5 horas para atingir o máximo (Quadro 14). Essa fração é sítio de ligação de vários cátions, inclusive zinco, através de grupos urodinil-carboxílicos (POLAR, 1976). O acúmulo de zinco na fração parede celular, o qual ocorre, provavelmente, devido a processo adsortivo (TURNER e

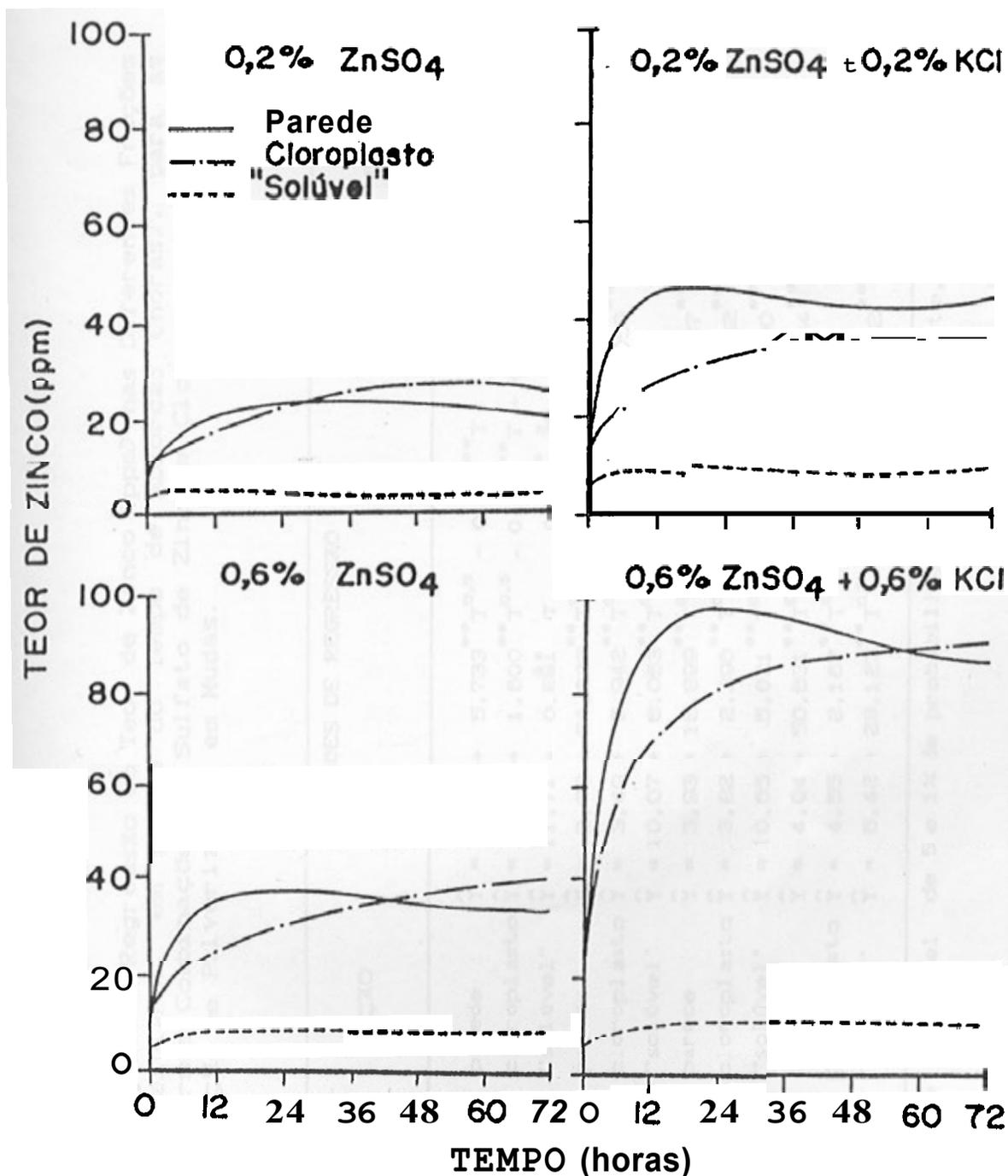


FIGURA 8- Teor de Zinco nas Diversas Frações Subcelulares, em Função do Tempo de Absorção Foliar de Zinco por Mudas de Cafeeiros, para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização.

QUADRO 13- Equações de Regressão do Teor de Zinco (ppm) nas Diferentes Frações Subcelulares, em Função do Tempo de Absorção (horas), para as Diversas Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, em Mudaz.

TRATAMENTO		FRAÇÃO	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	R ²
ZnSO ₄	KCl			
%				
0.2	0	parede	$\hat{Y} = 6,59 + 5,733^{**} T^{0,5} - 0,488^{**} T$	0.967
		cloroplasto	$\hat{Y} = 3,65 + 1,600^{**} T^{0,5} - 0,427^{**} T + 0,030^{*} T^{1,5}$	0.677
		"solúvel"	$\hat{Y} = 11,71 + 0,551^{*} T - 0,0051^{*} T^2$	0.990
0.2	0,2	parede	$\hat{Y} = 2,98 + 24,639^{**} T^{0,5} - 4,487^{**} T + 0,253^{**} T^{1,5}$	0.986
		cloroplasto	$\hat{Y} = 3,49 + 3,942^{**} T^{0,5} - 0,899^{**} T + 0,059^{**} T^{1,5}$	0.955
		"solúvel"	$\hat{Y} = 10,07 + 6,053^{**} T^{0,5} - 0,317^{**} T$	0.990
0.6	0	parede	$\hat{Y} = 3,93 + 16,899^{**} T^{0,5} - 2,744^{**} T + 0,137^{**} T^{1,5}$	0,991
		cloroplasto	$\hat{Y} = 3,82 + 2,396^{**} T^{0,5} - 0,402^{**} T + 0,022^{**} T^{1,5}$	0.964
		"solúvel"	$\hat{Y} = 10,65 + 5,021^{**} T^{0,5} - 5,021^{**} T + 0,190^{**} T^{1,5}$	0,986
0.6	0.6	parede	$\hat{Y} = 4,04 + 50,631^{**} T^{0,5} - 7,967^{**} T + 0,384^{**} T^{1,5}$	0.949
		cloroplasto	$\hat{Y} = 4,55 + 2,167^{**} T^{0,5} - 0,169^{**} T$	0.896
		"solúvel"	$\hat{Y} = 6,42 + 28,123^{**} T^{0,5} - 3,254^{**} T + 0,132^{**} T^{1,5}$	0.976

*, ** significativo a nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

(SHALL, 1971), é descrito como um mecanismo de prevenção celular contra altos níveis do metal (TURNER, 1971; WILHOUSE, 1983).

QUADRO 14- Tempo Para se Atingir o Teor Máximo de Zinco nas Diversas Frações Subcelulares. para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, em Mudis.

TRATAMENTO		PAREDE	CLOROPLASTO	"SOLÚVEL"
ZnSO ₄	KCl			
(%)	(%)	[Choras]		
0,2	0	34,5	6,7	53,8
0,2	0,2	18,9	10,0	+ 72,0
0,6	0	23,1	25,8	+ 72,0
0,6	0,6	24,5	6,4	+ 72,0

Contudo, verifica-se uma tendência geral de queda na quantidade de zinco na parede celular, após 20-30 horas, indicando uma possível liberação do metal dos sítios de adsorção, na parede celular, para o citoplasma (Figura 8). É interessante observar que existe zinco na fração parede, mesmo antes da aplicação de sulfato de zinco. Inicialmente 26% do zinco total localizava-se na parede celular, contra 57% na fração solúvel (Figura 9). Até os 200 minutos, a tendência foi de aumento e queda nas percentagens do total de zinco das frações parede e "solúvel", respectivamente (Figura 9). Porém, essa queda na

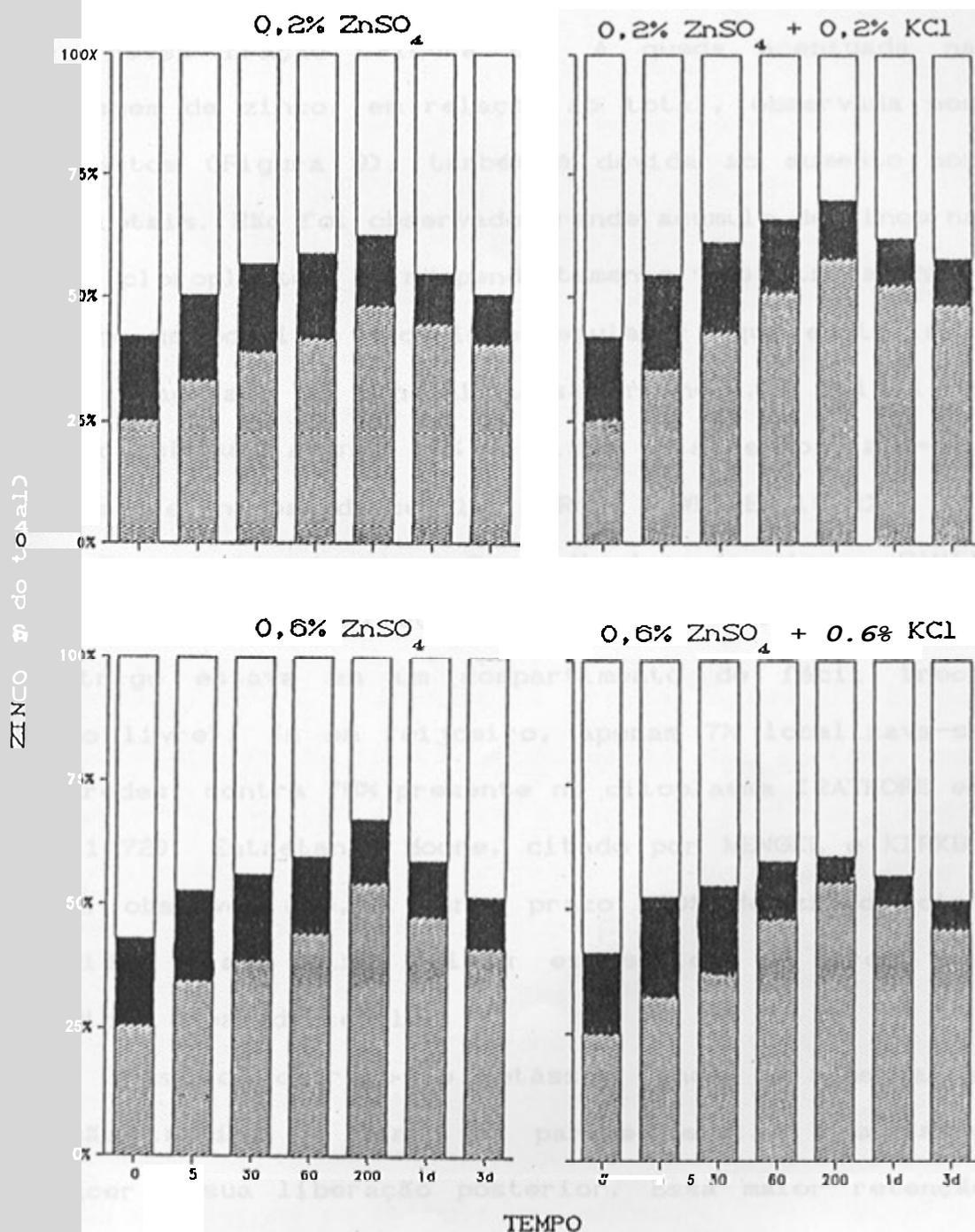


FIGURA 9- Percentagem do Zinco Total Presente em Cada Fração Subcelular C (parede, cloroplasto, solúvel), para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, nos Tempos de Absorção 0, 5, 30, 60, 200 Minutos, 1 e 3 Dias, em Mudanças.

fração "solúvel" é relativa, pois o teor total aumentou sempre nessa fração (Figura 8). A queda acentuada na percentagem de zinco, em relação ao total, observada nos cloroplastos (Figura 9), também é devida ao aumento nos teores totais. Não foi observado grande acúmulo de zinco na fração cloroplastos, independentemente do tratamento, indicando um possível mecanismo regulador, que evitaria o influxo exagerado do mineral nessa organela. Em folhas de *Silene cuculatus*, apenas 10% do zinco total encontrava-se, naturalmente, na parede celular (ERNST e WEINER, 1972).

Em estudos de absorção radicular de zinco, SANTA MARIA (1981) registrou que 16% do zinco total absorvido pelo trigo estava em um compartimento de fácil troca (espaço livre). Já em feijoeiro, apenas 7% localizava-se nas paredes, contra 75% presente no citoplasma (RATHORE *et alii*, 1972). Entretanto Moore, citado por MENGEL e KIRKBY (1982), observou que, a curto prazo, 90% do zinco total absorvido pelas raízes ficou em sítios de troca ou adsorvidos à parede celular.

O uso de cloreto de potássio tendeu a aumentar a retenção inicial de zinco na parede celular e a fazer decrescer a sua liberação posterior. Essa maior retenção inicial na parede, devido ao KCl, pode ser atribuída a um aumento na capacidade adsorptiva da cutícula, como anteriormente discutido, uma vez que a fração parede também é composta por fragmentos cuticulares. Observou-se, também com o KCl, um incremento na quantidade absorvida

pela fração "solúvel". reafirmando-se a possibilidade já discutida. do cloreto de potássio atuar tanto ao nível de cutícula/parede, como a nível de membrana plasmática.

At& as 72 horas do estudo, não se verificou saturação no acúmulo de zinco pela fração "solúvel" o para o tratamento 0.2% $ZnSO_4$, que saturou-se com 54 horas (Quadro 14), indicando que grande parte do zinco foi realmente absorvido pelas células. Assim, pode-se dizer que a parede celular não funcionou efetivamente como fração de exclusão do zinco em excesso, mas apenas como acceptora inicial de grandes quantidades do cátion, adsorvendo-o e, posteriormente, liberando-o para penetrar a membrana plasmática. Todavia, o acúmulo na fração "solúvel" não foi dependente apenas da liberação do zinco das paredes, mas principalmente do influxo para o interior celular, desde poucos minutos após a pulverização, o que gerou níveis elevados de zinco na fração "solúvel".

Deve-se ressaltar que a fração "solúvel" inclui outras organelas, como ribossomos, mitocôndrios, além do suco vacuolar. Sem dúvidas, o vacúolo pode desempenhar um papel muito importante, no sentido de evitar concentrações elevadas de cations no citoplasma. MATHYS (1977) mostra que o malato age como agente complexante de zinco e. em um mecanismo especial de transporte, transfere o zinco do citoplasma para o vacúolo. Em folhas de *Silene cuculatus*, 50% do zinco total encontrava-se nos vacúolos (CERNST e WEINER, 19723. Entretanto, no presente trabalho. não foi possível avaliar se houve acúmulo de zinco nos vacúolos das folhas de cafeeiros. ficando neste ponto uma incógnita.

3.5- Crescimento Vegetativo e Reprodutivo do Cafeeiro em Função da Nutrição com Zinco

Houve elevada correlação linear simples entre a expansão foliar e a área foliar acumulada e o incremento acumulado de ramos (Figura 10), tanto na primeira ($r = 0,997^{**}$) como na segunda fase ($r = 0,990^{**}$) do estudo de crescimento no campo. Assim, não são apresentados os dados de incremento de ramos, mas apenas os de área foliar acumulada.

As Figuras 11 e 12 mostram o efeito dos diversos tratamentos na área foliar acumulada em função do tempo, para a primeira e segunda fases do estudo de crescimento, respectivamente. Na primeira fase houve efeito significativo dos tratamentos na expansão foliar, ao passo que o mesmo não foi verificado na segunda fase.

Desta forma, para a primeira fase, estudou-se a área foliar acumulada em função do teor foliar de zinco nas folhas, para cada dia de medição (Figura 13). Observou-se ligeiro incremento na expansão foliar, quando os teores encontravam-se entre 20 e 30 ppm, dependendo do dia da medição. Verificou-se que os efeitos começaram a ser notados apenas 58 dias após a marcação dos ramos e se acentuaram a partir do 108^o dia, quando já haviam sido feitas duas pulverizações. Teores mais elevados acarretaram redução na expansão foliar, indicando efeito fitotóxico do zinco.

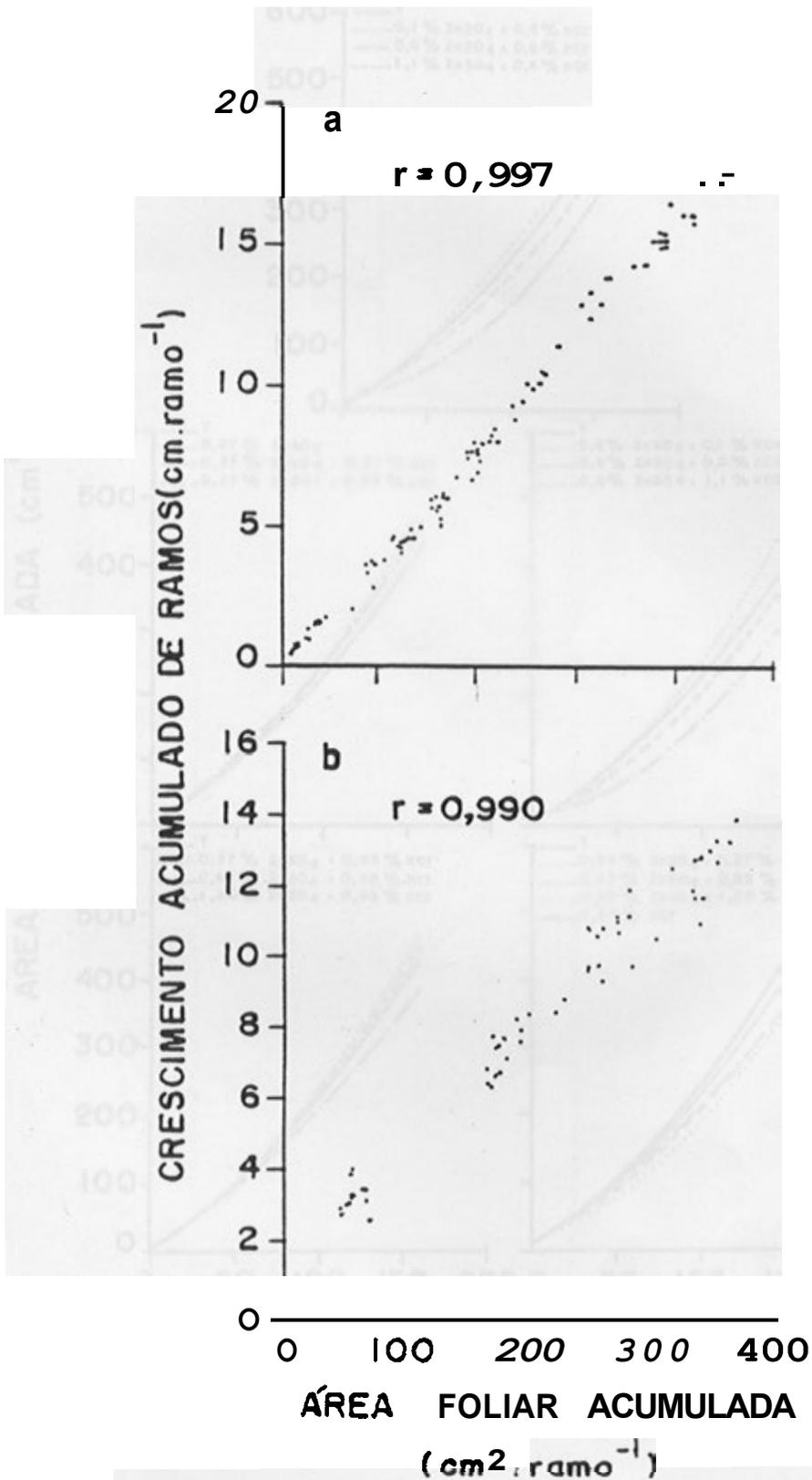


FIGURA 10- Correlação Entre a Area Foliar Acumulada e o Comprimento Acumulado de Ramos. na Primeira (a) e na Segunda (b) Fases do Estudo de Crescimento, no Campo.

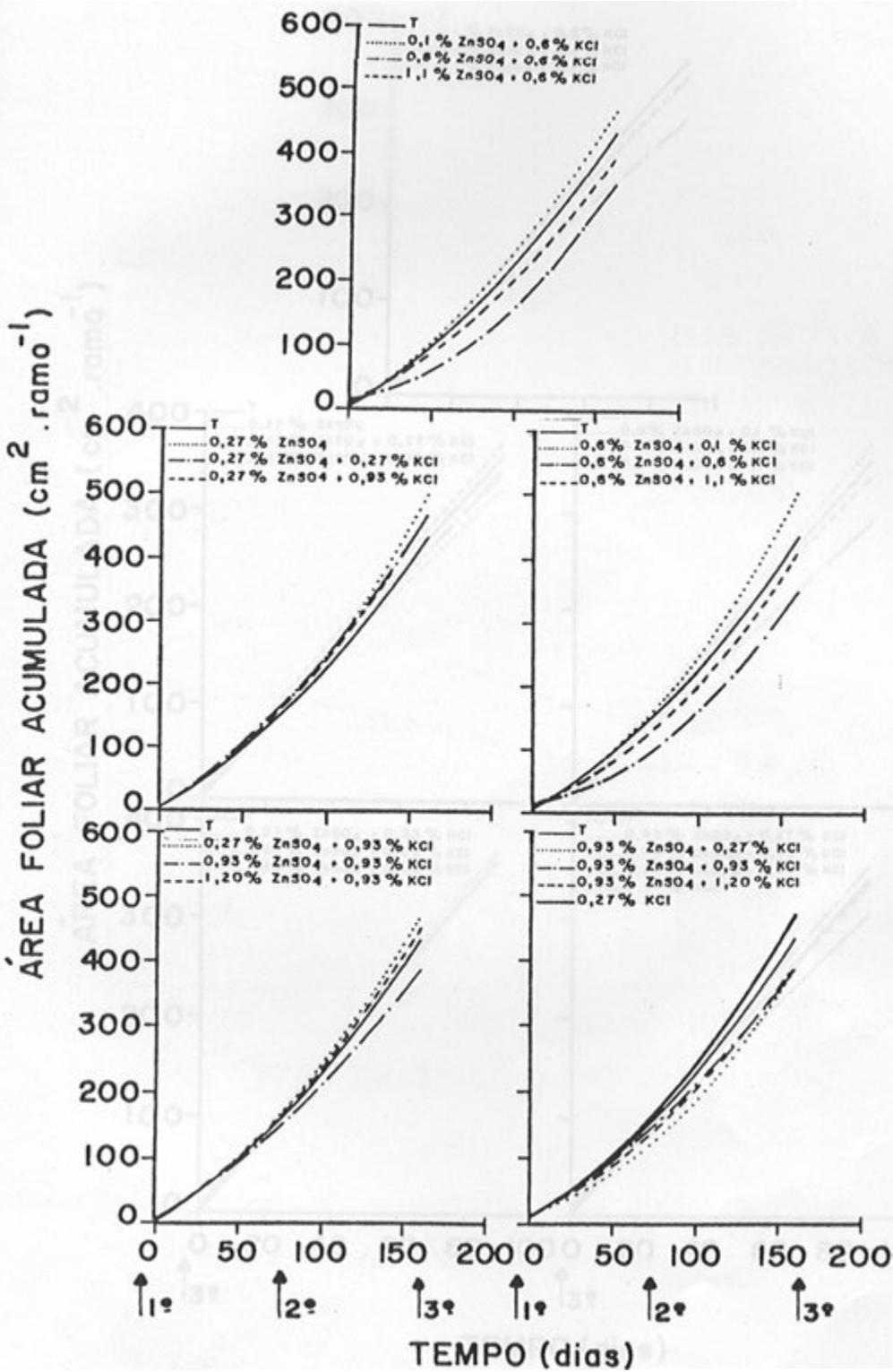


FIGURA 11 - Área Foliar Acumulada em Função do Tempo, para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, na Primeira Fase do Estudo de Crescimento, no Campo (24/08/89 a 30/01/90).
 ↑ - pulverizações

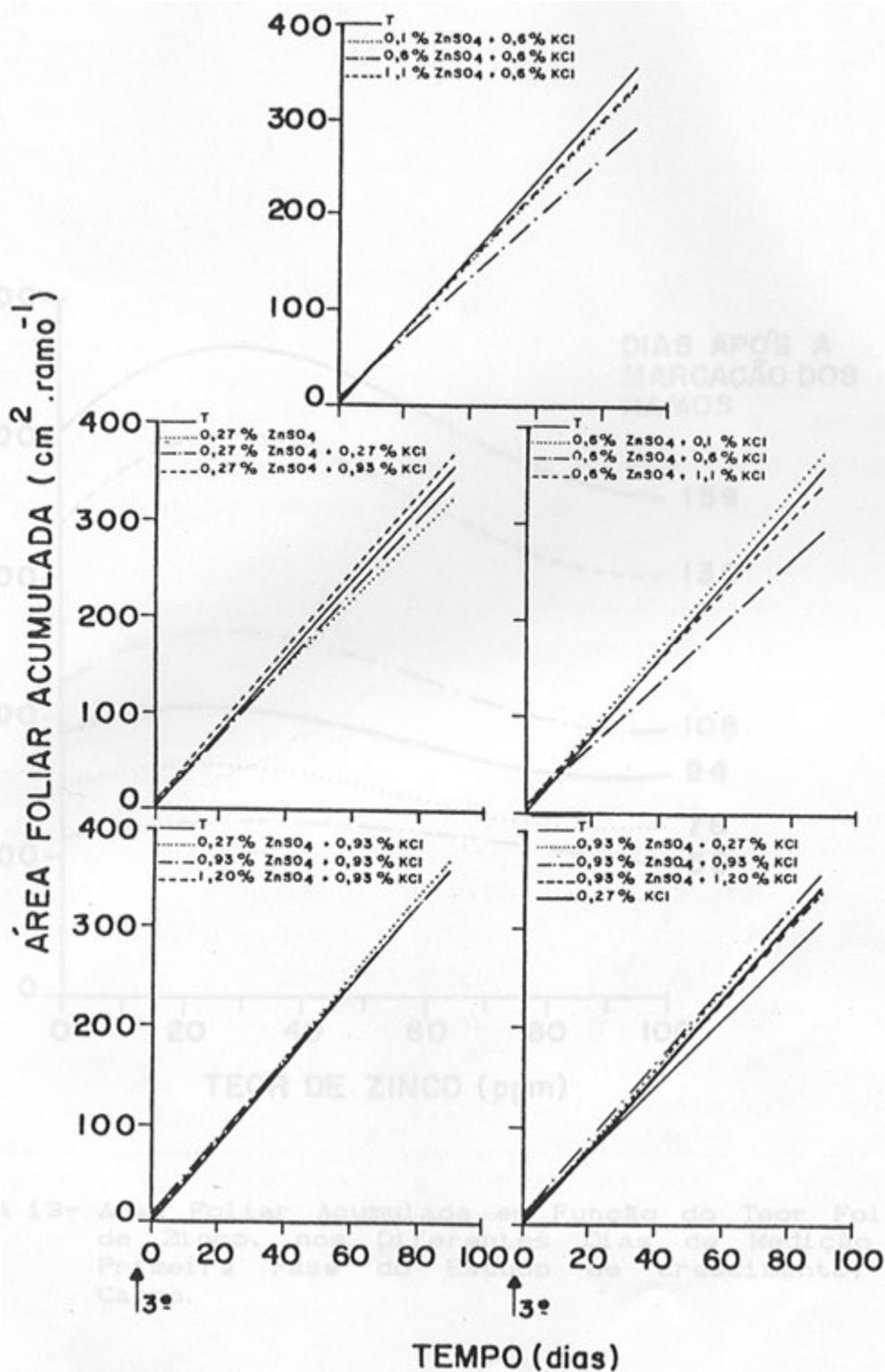


FIGURA 12- Area Foliar Acumulada em Função do Tempo, para as Diferentes Combinações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, na Segunda Fase do Estudo de Crescimento, no Campo (03/02/90 a 04/05/91).

↑ - pulverizações

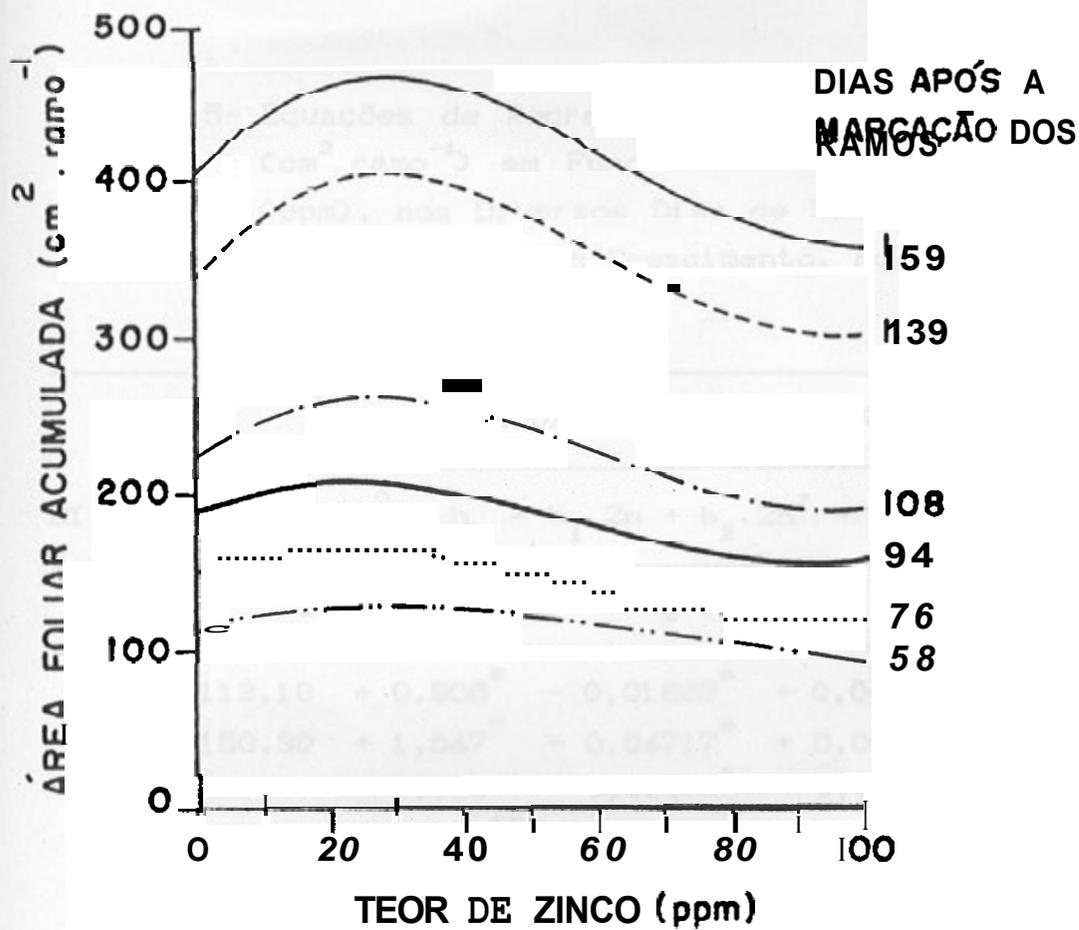


FIGURA 13- Área Foliar Acumulada em Função do Teor Foliar de Zinco, nos Diferentes Dias de Medição da Primeira Fase do Estudo de Crescimento, no Campo.

QUADRO 15- Equações de Regressão da Area Foliar Acumulada ($\text{cm}^2 \cdot \text{ramo}^{-1}$) em Função do Teor Foliar de Zinco (ppm) , nos Diversos Dias de Medição da Primeira Fase do Estudo de Crescimento. no Campo.

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO					
DIAS APÓS A MARCAÇÃO	$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot \text{Zn} + b_2 \cdot \text{Zn}^2 + b_3 \cdot \text{Zn}^3$				R^2
	b_0	b_1	b_2	b_3	
58	113.10	+ 0,906*	- 0,01886*	+ 0,0000788*	0,650
76	150.30	+ 1,647 [^]	- 0,04717*	+ 0,0002770*	0,673
94	189.07	+ 1,955	- 0,05476 [^]	+ 0,0003201*	0,583
108	223.61	+ 3,389**	- 0.08321	+ 0,0004595**	0,750
139	338.40	+ 5,346**	- 0.12560 [^]	+ 0,0006839**	0,823
139	404.14	+ 5,158**	- 1,23020	+ 0,0006378**	0,823

[^], *, ** Significativo a nível de 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. pelo teste F.

Na segunda fase do estudo de crescimento, não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos, pois os ramos marcados nessa ocasião eram bem novos e a última aplicação de zinco havia sido realizada três dias antes da marcação. Assim, com a expansão foliar acelerada, o zinco absorvido pelas folhas ainda jovens foi diluído e, desta forma, não foi verificada variação no crescimento posterior, em relação à testemunha.

Como discutido anteriormente, o zinco absorvido pelas folhas não é translocado para outras; os efeitos positivos ou negativos da pulverização não foram observados em folhas que não estavam presentes à época da aplicação, mas, tão somente, naquelas que receberam os tratamentos diretamente.

Não se observaram sintomas visuais de deficiência de zinco na testemunha, ao contrário do que se esperava, uma vez que tais sintomas são comuns na região de Viçosa, em cafeeiros jovens não tratados com zinco. DWIVEDI e TAKKAR (1974) relatam a ocorrência de "fome escondida de zinco" em plantas jovens de milho e arroz, somente detectada através da quantificação da atividade da ribonuclease. Desta forma, embora as plantas testemunhas possuíssem aparência saudável, não expressaram toda a sua potencialidade em termos de crescimento e produção (será discutido posteriormente). RAMAIAH *et alii* (1964) observaram que, antes do surgimento de sintomas visuais de deficiência de zinco em cafeeiros, havia um acúmulo de aminoácidos livres, os quais seriam os responsáveis pelos sintomas típicos da deficiência de zinco em cafeeiros.

Obviamente, "escondida" ou não, a fome de zinco induz danos severos ao metabolismo celular, uma vez que o zinco, quando presente em níveis abaixo do adequado, provoca redução na atividade de diversas enzimas, como anidrase carbônica (RANDALL e BOUMA, 1973; OHKI, 1976; GIBSON e LEECE, 1983. amido e sacarose sintetase (JYUNG *et alii*, 1975; SHROTRI *et alii*. 1980). Reduz, ainda, a atividade fotossintética (RANDALL e BOUMA, 1973; OHKI, 1976) e no conteúdo de ribossomos (PRASKE e PLOCKE, 1971), além de diminuir a síntese protéica (KITAGISHI *et alii*. 1937; OBATA e UMEBAYASHI, 1988).

Baixos teores foliares de zinco afetaram mais a produção de frutos que o crescimento vegetativo, talvez devido ao papel fundamental que o zinco exerce, especificamente, na fertilização. Os grãos de pólen possuem quantidades apreciáveis de zinco, sendo esse mineral é indispensável para a germinação do tubo polínico (POLAR, 1975; SHARMA *et alii*. 1987).

Com relação aos aspectos de toxidez provocada por teores elevados de zinco nas folhas, a redução na expansão foliar verificada sob altos níveis de zinco, embora não tenha sido visualmente detectada, concorda com o citado por MALAVOLTA (1980), que relata também a ocorrência de pigmento pardo avermelhado, provavelmente um fenol. RAUSER (1973) detalha que a deposição desse pigmento ocorre, principalmente, nas células do parênquima do córtex e dos vasos em folhas e caules de feijão e soja. SILVA (1979) observou que, sob teores maiores que 41 ppm de zinco, as folhas mais novas de cafeeiros tornaram-se

generalizadamente amarelecidas, coreáceas e quebradiças, com aparecimento exagerado de folíolos nas gemas, e que a produção de frutos diminuiu. Realmente, a produção de frutos foi, aparentemente, a característica **mais** afetada pela nutrição com zinco, principalmente sob teores elevados do mineral (Figuras 14 e 15). Os efeitos tóxicos, em consequência de altas doses de zinco, podem estar relacionados a várias causas, como interações do zinco com outros minerais, como ferro e fósforo, bem como a efeitos diretos do zinco na fotossíntese ou na distribuição de fotoassimilados da fonte para o dreno.

Tradicionalmente, tem-se associado os efeitos tóxicos do zinco com inibição na translocação do ferro (CAMBLER *et alii*, 1970; OLSEN, 1972; ROSEN *et alii*, 19773. Contudo, não se verificou efeito significativo dos tratamentos nos teores de Fe (Quadro 16), podendo-se sugerir que a interação Zn x Fe é um fenômeno que ocorre **mais** ao nível de inibição do transporte de ferro das raízes para a parte aérea, quando o zinco está presente em elevadas concentrações no ambiente radicular. Assim, a aplicação foliar de zinco não se relaciona com tais observações.

A interação Zn x P é também um processo associado ao ambiente radicular, onde altos níveis de fósforo tenderiam a induzir deficiência de zinco (OLSEN, 19723 e, da mesma forma que o ferro, os teores foliares de fósforo não se alteraram em função dos tratamentos aplicados (Quadro 16).

PRODUÇÃO (100000 beneficiadas / 1000 pés)

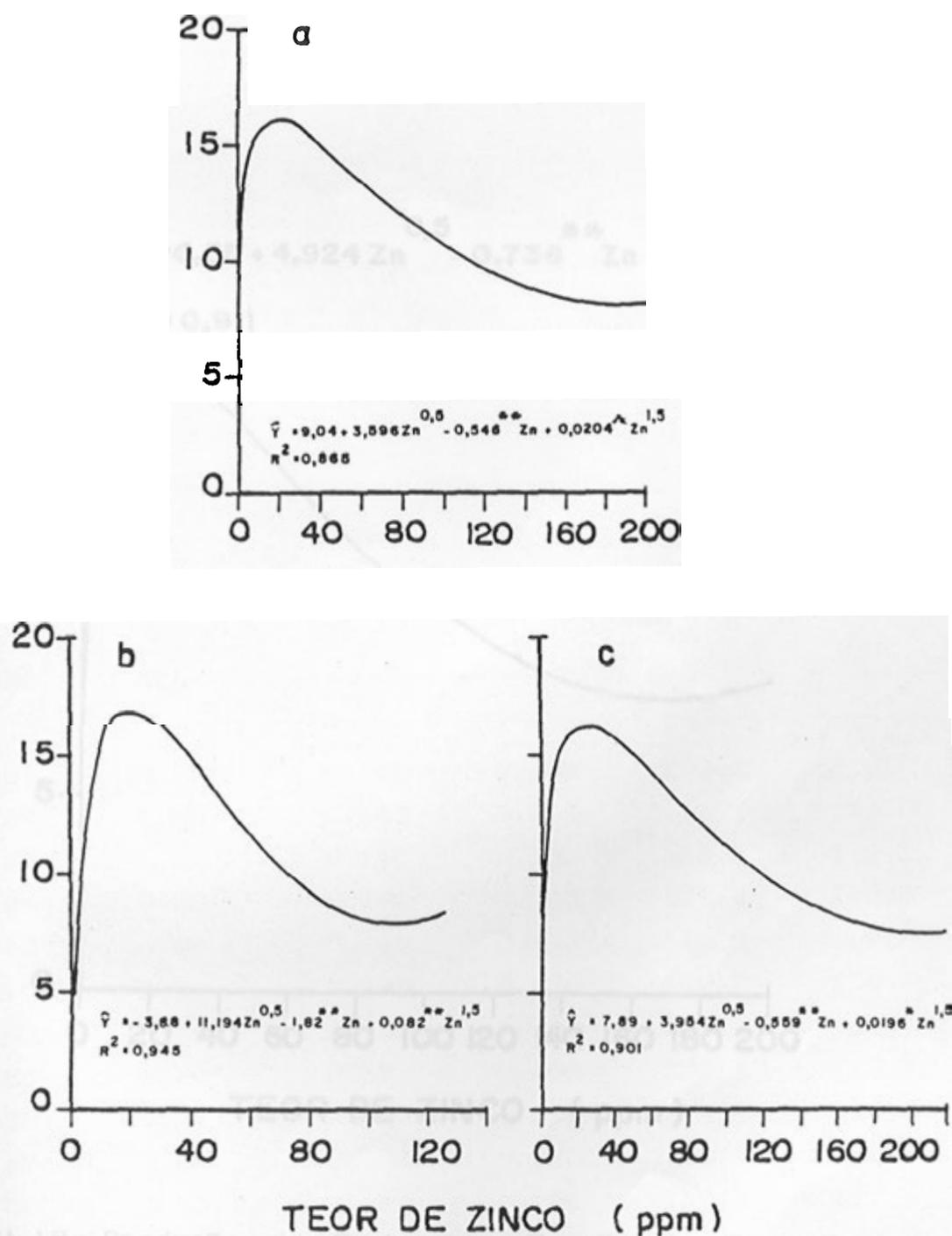


FIGURA 14— Produção de Frutos (Média de Dois Anos) em Função do Teor de Zinco no Terceiro Par de Folhas, aos 3 Dias Após as Pulverizações de Agosto (a), Novembro (b) e Janeiro (c). \wedge , *, ** significativo ao nível de 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

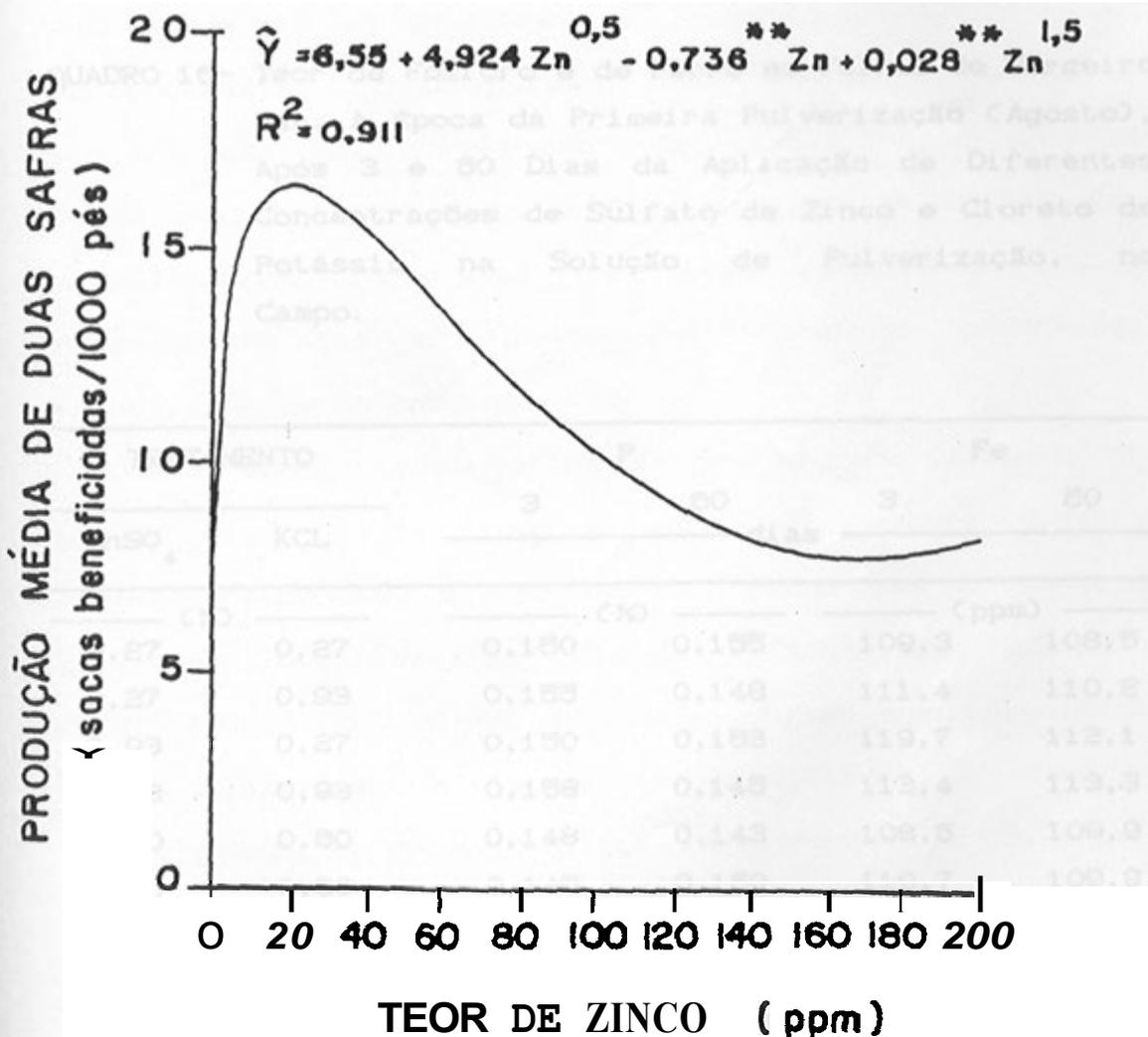


FIGURA 15- Produção de Frutos em Função do Teor Foliar Médio de Zinco. Durante o Período de Agosto a Março.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 16- Teor de Fósforo e de Ferro em Folhas do Terceiro Par. à Época da Primeira Pulverização (Agosto), Após 3 e 60 Dias da Aplicação de Diferentes Concentrações de Sulfato de Zinco e Cloreto de Potássio na Solução de Pulverização, no Campo.

TRATAMENTO		P		Fe	
ZnSO ₄	KCL	3	80	3	60
		dias			
(%)		(%)		(ppm)	
0.27	0.27	0.150	0,155	109.3	108.5
0.27	0.93	0,155	0.148	111.4	110.2
0.93	0.27	0,150	0.153	119.7	112.1
0.93	0.93	0.158	0.145	113.4	113.3
0.10	0.60	0.148	0.143	108,6	109.9
1,10	0.60	0,145	0,150	110.7	109.9
0.60	0.10	0,155	0.100	111,2	109.9
0,60	1,10	0,153	0.150	109.4	110.5
0.00	0.27	0.153	0,158	114.4	112.8
0,27	0.00	0,155	0,150	108,7	109,4
1.20	0.93	0,150	0.155	110.9	111,1
0.93	1,20	0,150	0.143	112.8	107.5
0.60	0,60	0,150	0,160	107.0	107.0
0,00	0.00	0.150	0,150	112.6	112.4

Wainwright e Woolhouse. citados por WOOLHOUSE (1983), atribuem a inibição do alongamento de células radiculares, submetidas a níveis tóxicos de zinco. à perda da turgescência das mesmas, como consequência de danos à membrana celular. Neste trabalho, quando a soma da dose de sulfato de zinco e de cloreto de potássio ultrapassou 1,2%, verificar am-se queimaduras nas folhas. devido A concentração salina elevada. Entretanto. tais necroses foram bastante reduzidas e se resumiram As folhas mais novas,. sendo improvável que esses problemas estejam relacionados com os sintomas de fitotoxidez observados. principalmente na produção.

A taxa fotossintética também não foi afetada por teores elevados de zinco (Figura 16), embora diversos autores relacionem a toxidez por zinco com a queda na atividade fotossintética (MILLER e COX, 1983; ASSCHE e CLIJSTERS, 1986; SINGH e SINGH, 19873; principalmente devido A inibição do transporte de elétrons, a nível de fotossistema II, pela substituição elementar do Mn^{2+} pelo Zn^{2+} no sítio de quebra da molécula de Água nos cloroplastos. Entretanto, como discutido anteriormente. não foi verificado acúmulo de zinco nos cloroplastos, que pudesse suportar essa hipótese. Vale também ressaltar que os estudos anteriormente citados foram conduzidos com cloroplastos isolados, o que difere da metodologia empregada neste trabalho, no qual se mediu a atividade fotossintética de tecido foliar de cafeeiro cultivado sob condições de campo.

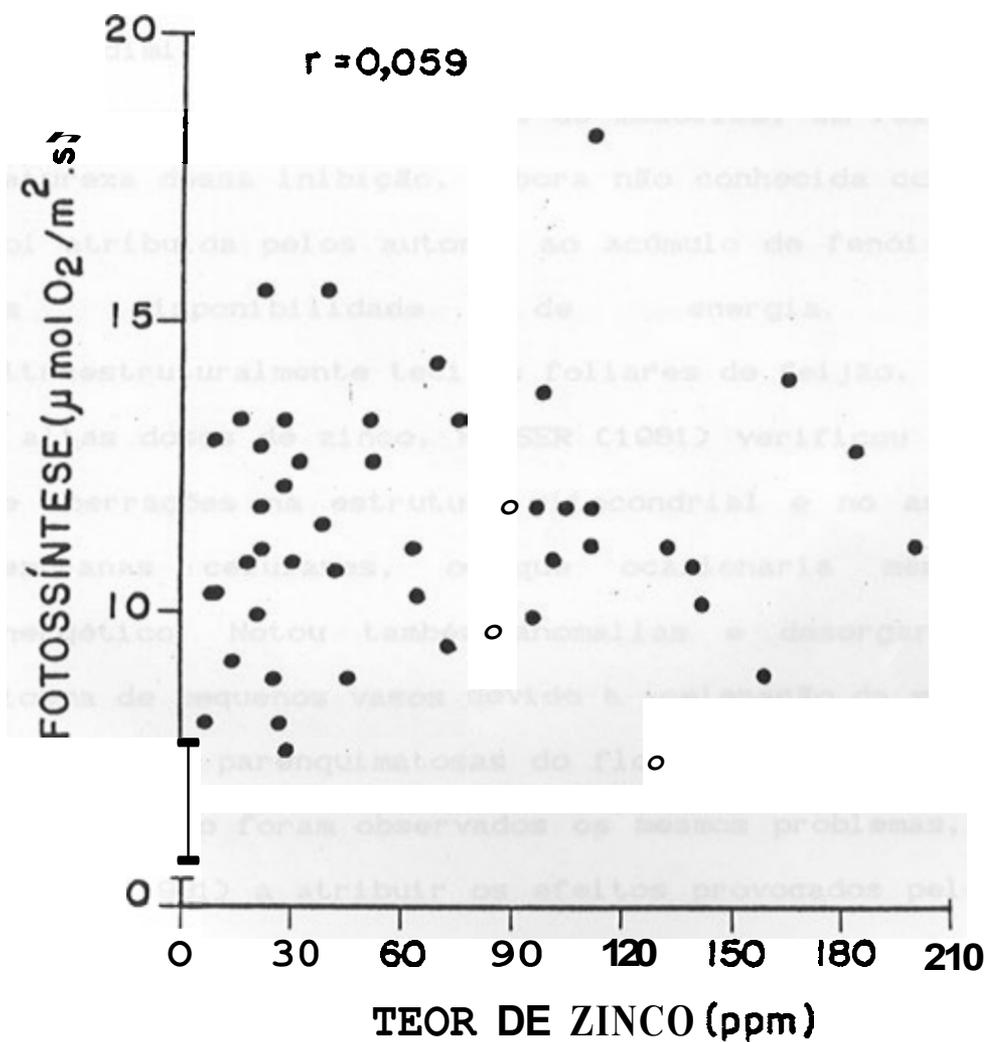


FIGURA 16- Fotossíntese Potencial em Função do Teor de Zinco em Folhas do Terceiro Par, aos Sete Dias Após a Terceira Pulverização do Segundo Ano.

RUANO *et alii* C19873 e RUANO e POSCHENRIEDER C19883 atribuem a redução no crescimento e produção de feijoeiros submetidos a doses tóxicas de zinco. à queda na taxa fotossintética e/ou à inibição da translocação de fotoassimilados da fonte para o dreno. De fato, RAUSER e SAMARAKOON C19803 observaram que, sob toxidez de zinco, houve diminuição no carregamento do floema, com acúmulo de sacarose marcada nas células do mesófilo, em feijoeiros. A natureza dessa inibição, embora não conhecida com certeza, foi atribuída pelos autores ao acúmulo de fenóis ou queda na disponibilidade de energia. Estudando ultraestruturalmente tecidos foliares de feijão, submetidos a altas doses de zinco. RAUSER C19811 verificou ocorrência de aberrações na estrutura mitocondrial e no arranjo das membranas celulares, o que ocasionaria menor nível energético. Notou também anomalias e desorganização no floema de pequenos vasos devido à aceleração da senescência das células parenquimatosas do floema. Contudo, em estudos *in vitro* não foram observados os mesmos problemas. levando RAUSER C19811 a atribuir os efeitos provocados pelo zinco, não ao cátion diretamente, mas a compostos gerados por ele, como alguns compostos fenólicos.

Embora não tenha sido efetuado, neste trabalho, um estudo do acúmulo de sacarose no mesófilo foliar, as evidências permitem sugerir que a queda drástica observada na produção de frutos e, em menor escala, na expansão foliar, pode estar intimamente ligada à inibição no carregamento do floema e, assim, na distribuição de

fotoassimilados das folhas fotossinteticamente ativas para os drenos, principalmente frutos e pequenas folhas.

Observa-se que os efeitos na área foliar acumulada tornaram-se bem evidentes somente a partir do 110^o dia após a primeira ou no 38^o dia após a segunda aplicação dos tratamentos (Figura 13), o que indica que os lançamentos novos foram os **mais** afetados; e uma vez que estes, invariavelmente, possuíam teores baixos ou normais de zinco, a diminuição no seu crescimento pode ser atribuída a uma menor disponibilidade de carboidratos quando essas folhas ainda atuavam como drenos. Nas. folhas maduras, mesmo com elevados teores de zinco, não foi observada queda na atividade da fotossíntese, ou seja, a produção de fotossintetatos era normal, ~~mas~~ a sua exportação para as regiões de consumo era inibida.

Como os frutos em desenvolvimento são drenos preferenciais, observa-se efeito mais pronunciado na produção que no crescimento. Tanto é verdade, que o teor que permitiu a maior produção (19 - 20 ppm) foi menor que o teor que ocasionou maior acúmulo de Área foliar (28ppm), ao final da primeira fase do estudo de crescimento.

Segundo CANNEL (1976), a fotossíntese dos frutos é responsável por até 30% do seu ganho de matéria seca. A fonte **mais** importante para a complementação restante é a fotossíntese atual (CARVALHO, 1983). Uma vez que, aparentemente, a floração foi uniforme em todos os tratamentos antes da primeira pulverização do primeiro ano, a redução na produção final foi consequência da queda de frutos durante o seu desenvolvimento. Assim, se a toxidez

de zinco inibe o carregamento do floema e/ou transporte de assimilados para as regiões consumidoras. pode-se atribuir a queda na produção de frutos a uma menor disponibilidade de fotoassimilados para esses órgãos, nas plantas com elevados teores de zinco.

Pelas Figuras 14 e 15, constata-se que o limiar de deficiência e de toxidez de zinco foi muito estreito. Uma pequena diferença entre a dose de zinco adequada e tóxica foi também relatada por THORNE (1957). OHKI (1984) define "nível crítico de deficiência" e "nível crítico de toxidez", como sendo, respectivamente, as concentrações mínima e máxima associadas com 10% de redução na produção a partir do máximo, devido à deficiência e toxidez de zinco. Na Figura 14, que relaciona a produção com os teores foliares de zinco aos 3 dias após as pulverizações de agosto, novembro e janeiro, observa-se que a melhor relação foi obtida com os dados da pulverização de novembro ($C > R^2$), na qual a produção máxima foi obtida com 19 ppm de zinco nas folhas; e 10% de redução da produção máxima correspondeu a teores de 9 ppm (nível crítico de deficiência) e 37 ppm (nível crítico de toxidez). Com os teores da primeira pulverização (agosto), os níveis críticos de deficiência, toxidez e o nível associado à produção máxima, foram 5, 49 e 19 ppm, respectivamente, enquanto na terceira pulverização (janeiro), os mesmos níveis foram 6, 54 e 22 ppm, respectivamente.

Quando se faz um estudo da relação entre os teores médios de zinco ao longo do período todo (agosto a março), e a produção de frutos, observa-se que a produção máxima

foi obtida com 20 ppm de zinco nas folhas; e 10% de redução da produção máxima correspondeu a níveis críticos de deficiência e de toxidez de 6 e 47 ppm, respectivamente.

Nota-se que o teor de zinco que permitiu a maior produção é bem próximo do nível crítico de deficiência, o que indica que a aplicação de pequenas doses de zinco podem suprir o cafeeiro deste mineral; principalmente quando se adiciona cloreto de potássio, dada a grande eficiência na absorção foliar do zinco pelo cafeeiro.

A faixa de teores associada à produção máxima de cafeeiros encontrada neste trabalho, assemelha-se às observadas por outros autores. SILVA (1979) relaciona teores foliares de zinco entre 15,9 e 19,4 com a produção máxima de cafeeiros, enquanto GUIMARÃES *et alii* (1983) observaram que teores entre 21 e 25 ppm de zinco eram os mais adequados. MALAVOLTA *et alii* (1983) citam uma faixa um pouco mais ampla, entre 11 e 20 ppm de zinco. Entretanto, OLIVEIRA *et alii* (1981) relacionam 70 ppm de zinco com a maior produção.

Todavia, as concentrações de sulfato de zinco recomendadas para atingir tais teores, têm sido bem mais elevadas que as detectadas neste trabalho. Pelas figuras 5a, 5b e 5c, verifica-se que, para se conseguir 20 ppm, aos 3 dias, na primeira e na terceira pulverizações, foram necessários, respectivamente, apenas 0,12 e 0,17% de sulfato de zinco, isoladamente, ou menos, quando se associou cloreto de potássio. Já na segunda pulverização foram precisos 0,45% de sulfato de zinco, isoladamente, ou 0,10%,

quando se colocou 0,20% de cloreto de potássio. O uso de cloreto de potássio deve ser efetuado com muito cuidado, uma vez que altas concentrações deste sal podem elevar o teor foliar de zinco a níveis tóxicos, mesmo que a dose de sulfato de zinco seja pequena. Assim, aconselha-se utilizá-lo com a intenção de diminuir a dose de sulfato de zinco, o que é economicamente muito interessante, principalmente quando se adiciona cobre à solução de pulverização. Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho permitem recomendar, com segurança, a pulverização de cafeeiros com soluções de sulfato de zinco em concentrações entre 0,1 e 0,2%, acrescentando-se cloreto de potássio a 0,2%, na presença ou ausência de oxiclreto de cobre (Figura 5). Ressalta-se que a adição de cloreto de potássio é muito mais importante quando se inclui oxiclreto de cobre à solução de pulverização.

As concentrações recomendadas no Brasil, citadas na literatura, são, na maioria dos casos, superiores às encontradas neste trabalho. PEREIRA *et alii*, C19763 recomendam a aplicação de sulfato de zinco 0,75%, 4 a 6 vezes por ano. Sulfato de zinco 0,6%, 3 a 4 vezes é o recomendado por FRANCO e MENDES (1954), CHEBABI e GONÇALVES (1970), PEREIRA *et alii* C19843 e SILVA e SANTINATO (1986). Já OLIVEIRA *et alii* (1981), GUIMARÃES *et alii* C19832 e CHAVES C19893 indicam a aplicação de sulfato de zinco 0,5% 2 a 3 vezes. As concentrações recomendadas por SILVA C19793 são bem mais elevadas, como sulfato de zinco 1,34 a 2,01%, 2 vezes. Em aplicações a baixo volume chega-se a recomendar 4% de sulfato de zinco (MONTEIRO *et alii*, 1968). Já na

India. indica-se. em geral, a aplicação de sulfato de zinco 0,25% (ANANTH *et alii.* 1965; ANANTH, 1971; RAO, 1978), o que é bem mais próximo do obtido neste trabalho.

A intensidade dos sintomas não é um bom índice para determinação da concentração de zinco a ser utilizada na pulverização, como sugere MULLER (1966). Dada a grande eficiência na absorção foliar de zinco e a sua imobilidade, quando aplicado às folhas de cafeeiros. deve-se aplica-lo em pequenas doses, cobrindo bem a periferia da planta, e num intervalo nunca superior a 60 dias, nos períodos de rápido crescimento. Muitas vezes. aplicam-se altas doses de zinco. visando corrigir deficiências agudas. e coletam-se folhas do terceiro par. para a análise após 60 dias. Entretanto. essas folhas não receberam a pulverização e, portanto, apresentam teores baixos de zinco. Assim. faz-se *outra aplicação, com doses também elevadas, o que gera* um efeito cumulativo, o qual pode ser extremamente prejudicial à fisiologia e produção do cafeeiro. pois *existirão* sempre folhas *altamente* intoxicadas e. as *mais* jovens, deficientes.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram estudados, em condições de campo, os efeitos da aplicação de uréia e de níveis crescentes de cloreto de potássio em conjunto com sulfato de zinco, na absorção foliar e distribuição sub-celular do zinco no cafeeiro, bem como a sua mobilidade quando aplicado às folhas. Estudou-se também as relações entre o teor foliar de zinco e os crescimentos vegetativo e reprodutivo dos cafeeiros.

A adição de uréia não promoveu efeito antagônico, nem mesmo sinérgico, na absorção foliar de zinco. Porém o uso de cloreto de potássio provocou aumento significativo na quantidade absorvida, parecendo atuar tanto ao nível de penetração cuticular como de absorção celular propriamente dita.

Em mudas, observou-se uma fase inicial de absorção bastante rápida, seguida por taxas decrescentes. Cerca de 60 a 70% do teor máximo de zinco foram alcançados com apenas três horas de absorção. O uso de cloreto de potássio provocou aceleração ainda maior do processo.

No campo. os teores de zinco observados aos **tres** dias após a aplicação, em folhas correspondentes ao terceiro par, à época da pulverização, não se modificaram aos 30 e 60 dias nas mesmas condições, sugerindo que o zinco absorvido por uma folha madura não era distribuído para outras regides da planta. Esse fato, aliado à observação de concentrações baixas de zinco nas folhas surgidas após as pulverizações, independentemente do tratamento, mostra a imobilidade do zinco quando aplicado **As** folhas do cafeeiro.

A absorção de zinco por folhas novas, do primeiro par contado a partir do ápice, foi bem **mais** intensa se comparada com a absorção por folhas maduras. Contudo, verificou-se **diluição do zinco presente** nessas folhas, com a sua expansso.

Notou-se um aumento inicial bastante rápido do zinco presente na parede celular, após a pulverização, com **máximo** entre 20 e 30 horas horas de absorção, decaindo em seguida. O uso de cloreto de potássio aumentou essa **retenção** inicial de zinco na parede celular. Constatou-se a existencia de zinco na **fração** parede celular, antes mesmo de serem feitas as pulverizações.

O **acúmulo** de zinco na fração "solúvel" ocorreu desde os primeiros instantes após a pulverização, não sendo apenas dependente da liberação do zinco das paredes, **mas** principalmente, do influxo através da plasmalema. A parede celular não foi efetiva, no sentido de livrar o citoplasma dos excessos de zinco. Os cloroplastos não acumularam grandes quantidades de zinco.

A expansão da Area foliar foi **maior** quando **os** teores foliares de zinco situaram-se entre 20 e 30 ppm, sendo que abaixo ou acima dessa faixa. houve decréscimo na Area foliar acumulada. Efeito semelhante, porém **mais** drástico. **foi** observado na produção de frutos. com a **maior** colheita associando-se a um teor de 20 ppm de zinco nas folhas.

Notou-se que **os** efeitos na area foliar tornaram-se bem evidentes somente a partir do 116^o ou 38^o dia após a primeira ou a segunda aplicações respectivamente. sugerindo que **os** novos lançamentos foram **os mais** afetados.

Não se verificou efeito significativo dos tratamentos no teor foliar de ferro. nem correlação da fotossíntese com a concentração foliar de zinco. Aparentemente, **os** efeitos tóxicos do zinco devem estar associados à inibição do transporte de fotoassimilados. das folhas fotossinteticamente ativas para **os** drenos (frutos e pequenas folhas).

O sulfato de zinco deve ser pulverizado em concentrações entre 0,1 e 0,2%, com adição de cloreto de potássio a 0,2%.

... efeito de doses de potássio
na secreção de ...
... In: CONGRESSO

CAPEZINHO,
1960, p. 20

... CARVALHO, J. G.; GIMARÃES,
aplicação foliar de sulfato de
potássio, no teor de

BIBLIOGRAFIA

... CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS
... Plantas do Sinal, Pernambuco, Rio
de Janeiro, 1960, p. 117.

café (Coffea arabica)
V. Vigosa, 38p, Clasa M

...
...
... 220-225.

...
...
... iron in soybean

...
...
... 172-175.

...
...
... deficiency in coffee

5. BIBLIOGRAFIA

- ABRAHÃO, E. J. & ALMEIDA, E. 1989. Efeito de doses de sulfato de zinco, em mistura com cloreto de potássio aplicadas via foliar, em cafeeiros. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16. Resumos. .. Rio de Janeiro, MIC/IBC. p. 58-59.
- ABRAHÃO, E. J. ; CAMARGO, M. M. ; CARVALHO, J. G. ; GIMARÃES, P. T. G. 1990. Efeitos da aplicação foliar de sulfato de zinco, na presença de cloreto de potássio, no teor de zinco nas folhas e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16. Espírito Santo do Pinhal. Resumos.. . Rio de Janeiro. MIC/IBC. p. 116-117.
- ALVAREZ V., V. H. 1985. *Avaliação da fertilidade do solo (Superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta)*. Imprensa Universitária. UFV, Viçosa. 75p.
- ALVES, J. D. 1985. *Relação entre a redução do nitrato e a fotossíntese no cafeeiro (Coffea arabica L.)*. Imprensa Universitária. UFV, Viçosa. 38p. (Tese M.S.).
- AMBLER, J. E. ; BROWN, J. C. ; GAUCH, H. G. 1970. Effect of zinc on translocation of iron in soybean plants. *Plant Physiol.*, 46: 320-323.
- ANANTH, B. R. 1971. Role of micronutrients in coffee. *Indian Coffee*, 35: 473-476.
- ANANTH, B. R. ; IYENGAR, B. R. N. ; CHOKHANNA, N. C. 1965. Widespread zinc deficiency in coffee in India. *Turrialba*, 15: 81-87.

- ARZOLLA, J. D. P.; HAAG, H. P. L.; MALAVOLTA, E. 1962. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. VIII. Estudo da absorção e translocação do radiozínco no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Anais da ESALQ*, 19: 35-52.
- ASSCHE, F. van & CLIJSTERS, H. 1988. Inhibition of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* by treatment with toxic concentration of zinc: effects on electron transport and photophosphorylation. *Plant Physiol*, 66: 717-721.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA, L. J. 1973. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo]. *Rev. Ceres*, 20: 44-52.
- BLANCO, H. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, D. A.; SARRUGE, J. R. 1972a. Absorção de zinco por tecido foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Arq. Inst. Biol.*, 39: 1-12.
- BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; HAAG, H. P. 1971. Absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 1- Técnica para emprego de soluções não radioativas. *Arq. Inst. Biol.*, 38: 181-189.
- BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; HAAG, H. P. 1972b. Absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiro. 2- Efeito de diferentes compostos de zinco e do pH da solução externa. *Arq. Inst. Biol.*, 39: 13-18.
- BONNER, J. 1976. Cell and subcell. In: J. BONNER; J. E. VARNER (ed), *Plant Biochemistry*. 3^aed. Academic Press. 925p.
- BOWEN, J. E. 1981. Kinetics of active uptake of boron, zinc, copper and manganese in barley and sugarcane. *J. Plant Nutr.*, 3: 215-223.
- BUKOVAC, M. J. & WITWER, S. H. 1957. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiol.*, 32: 428-435.
- CALENDÁRIO E ACOMPANHAMENTO DE LAVOURAS DE CAFÉ. 1984. Séries Documentos. 19. EPAMIG, Belo Horizonte. 60p.
- CANNEL, M. G. R. 1976. Crop physiological aspects of coffee bean yield. *J. Coffee Res.*, 5: 7-20.
- CARVALHO, C. H. S. 1985. *Relação entre seca de ramos, produção, teor de amido e morte de raízes da prole de Catimor UN-1359 (Coffea arabica L.)* Imprensa Universitária. UFV, Viçosa. 40p. (Tese M.S.)
- CHAMEL, A. R. & GAMBONNET, B. 1982. Study with isolated cuticles of the behaviour of zinc applied to leaves. 3. *Plant Nutr.*, 5: 153-171.
- CHAVES, J. C. D. 1989. Métodos de fornecimento de zinco em cafeeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15. Maringá. Resumos. Rio de Janeiro, MIC/IBC. p. 28-29.

- CHEBABI, R. A. & GONÇALVES J.C. 1970. *Deficiências minerais no cafeeiro*. Campinas, CATT. 28p. (Boletim Técnico 56).
- CHRISTENSEN, P. 1986. Additives don't improve zinc uptake in grapevines. *Calif. Agric.*, 40: 22-23.
- CLARKSON, D. T. & HANSON, J. B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, 31: 239-298.
- CORDEIRO, A.T. ; ALVES J.D. ; RENA. A.B. 1985. Avaliação polarográfica da fotossíntese em tiras foliares de *Coffea arabica* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12. Caxambu, Resumos.. Rio de Janeiro. MIC/IBC. p.136-137.
- CORDEIRO. A. T. ; ALVES. J.D. ; RENA, A. B. ; ALVAREZ V. , V. U. 1990. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de cloreto de potássio e oxícloreto de cobre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16. Espírito Santo do Pinhal. Resumos.. Rio de Janeiro. MIC/IBC, p. 34-35.
- COSTA. P. C. ; SANTINATO, A. A. ; SENA. C. A. ; PARDUCCI, S. 1989. Competição de adubos foliares: orgânicos, quelatizados e sais. no fornecimento de nutrientes CN, K, Mg, S, Zn e B) ao cafeeiro em produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17. Maringá. Resumos.. Rio de Janeiro. MIC/IBC. p.215-218.
- DWIVEDI, R. S. & TAKKAR, P.N. 1974. Ribonuclease activity as an index of hidden hunger of zinc in crops. *Plant Soil.* 40: 173- 181.
- ELGABALY, M.M. 1950. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. *Soil Sci.*, 69: 167-174.
- ERNST, W & WEINER, H. 1972. Localization of zinc in the leaves of *Silene cuculatus*. *Fert. Abst.*, 5: 1222.
- FERRANDON, M. & CHAMEL, A.R. 1988. Cuticular retention. foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. *J. Plant Nutr.*, 11: 247-263.
- FRANCO, C. M. & MENDES. H. C. 1954. *Deficiência de zinco em cafeeiro*. Boletim da Superintendência dos Serviços de Cafe, 29: 34-39.
- FRANKE, W. 1967. Mechanisms of foliar penetration of solutions. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 18: 281-300.
- GARCIA. A. W. R. ; MARTINS. M. ; TOLEDO, A. R. 1980.. Absorção de zinco e boro, via foliar, pelo cafeeiro. na presença de outros sais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8. Poços de Caldas. Resumos.. Rio de Janeiro, MIC/IBC. p.1-2.

- GARCIA, A. W. R. & SALGADO, A. R. 1981. Absorção de zinco pelo cafeeiro através de sais e misturas quelatizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9. São Lourenço. Resumos.. Rio de Janeiro, MIC/IBC. p.39-47,
- GIBSON, T. S. & LEECE, D. R. 1981. Estimation of physiologically active zinc in maize by biochemical assay. *Plant Soil*, 63: 395-406.
- GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, J. G.; MELLES, C. C. A.; MALAVOLTA, E. 1983. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. XXXVIII. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Anais da ESALQ*, 40: 497-507.
- JOHNSON, C. M. & ULRICH, A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Univ. of California. *Calif. Agric. Exp. Sta. Bull.*, 766: 32-33.
- JYUNG, W. H.; EHMANN, A.; SCHLENDER, K. K.; SCALA, J. 1975. Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L.. *Plant Physiol.*, 55: 414-420.
- JYUNG, W. H. & WITTEWER, S. H. 1984. Foliar absorption - an active uptake process. *Am. J. Bot.* 71: 437-444.
- KANNAN, S. 1980. Mechanism of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. 3. *Plant Nutr.*, 2: 717-735.
- KANNAN, S. 1986. Foliar absorption and transport of inorganic nutrients. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 4: 341-375.
- KITAGISHI, K. & OBATA, H. 1986. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissue of rice plants with reference to protein synthesis. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 32: 397-405.
- KITAGISHI, K.; OBATA, H.; KONDO, T. 1987. Effect of zinc deficiency on 80s ribosome content of meristematic tissue of rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33: 423-429.
- LEITE, R. A. 1984. *Uso de matrizes experimentais e de modelos estatísticos no estudo do equilíbrio fósforo-enxofre na cultura da soja em amostras de dois Latossolos de Minas Gerais*. Imprensa Universitaria. UFV, Viçosa. 87p. (Tese M. S.).
- LINDEMAN, W. 1958. Observations on the behaviour of phosphate compounds in *Chlorella* at the transition from dark to the light. In: United Nations, ed. 2nd United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneve. 24: 8-15.
- LOTT, W. L. 1961. *Levantamento de cafezais em São Paulo e no Paraná pela análise foliar*. São Paulo, IBEC Res. Inst. 69p. (Boletim 25).

- MACHADO, P.L.O.A. & PAVAN, M.A. 1987. Avaliação de métodos químicos para extração de zinco disponível no solo para mudas de café. *Pesq. Agropec. Bras.*, 22: 213-217.
- MALAVOLTA, E. 1980. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. 251p.
- MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G.; GUIMARÃES, P.T.G. 1983. Effect of micronutrients on coffee grown in Latin America. *J. Coffee Res.*, 13: 64-77.
- MATHYS, W. 1977. The role of malate, oxalate, mustard oils glucosides in the evolution of zinc resistance in herbage plants. *Plant Physiol.*, 40: 130-136.
- Mc.FARLANE, J. & BERRY, W.L. 1974. Cations penetration through isolated leaf cuticles. *Plant Physiol.*, 53: 723-727.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. 3rded. International Potash Institute. Bern. 655p.
- MICHORI, P.K. 1981. Trend in coffee nutrition research in Kenya. *Kenya Coffee.*, 46: 247-260.
- MILLER, M. & COX, R.P. 1983. Effect of Zn^{2+} on photosynthetic oxygen evolution and chloroplast manganese. *FEBS Letters*, 155: 331-333.
- MONTEIRO, M.V.M.; AMORIN, H.V.; CRISTOFOLET, J.C.; RIBEIRO, L.V.; FERREIRA, W.A. 1968. Aerial spraying with zinc sulphate on coffee trees in state of São Paulo, Brazil. *Turrialba*, 8: 126-135.
- MULLER, L.E. 1966. Coffee nutrition. In: *Temperate to tropical fruit nutrition*. N.F. CHILDERS (ed.). Horticultural Publication, The State University, New Brunswick. p.685-776.
- OBATA, H. & UMEBAYASHI, M. 1988. Effect of zinc deficiency on protein synthesis in cultured tobacco plant cells. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 34: 351-357.
- OHKI, K. 1976. Effect of zinc nutrition on photosynthesis and carbonic anhydrase in cotton. *Physiol. Plant.*, 38: 300-304.
- OHKI, K. 1984. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghum. *Agron. J.*, 76: 253-256.
- OLIVEIRA, G.D.; HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; COSTA, J.D.; DECHEN, A.R. 1981. Adubação não radicular com duas fontes de zinco em *Coffea arabica* L. "Mundo Novo" (B. Rodr.) Choussy. *Anais da ESALQ.*, 38: 23-69.

- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrients interactions. *In: J. J. MORTVEDT (ed.). Micronutrients in agriculture.* Soil Sci. Soc. Am. Madison. p. 243-264.
- PEASLEE, D.E.; ISARANGKURA, R.; LEGGETT, J.E. 1981. Accumulation and translocation of zinc by two corns cultivars. *Agron. J.* 73: 729-732.
- PEREIRA, J.F.; CRAFTS, A.S.; YAMAGUCHI, S. 1963. Translocation in coffee plants. *Turrialba*, 13: 64-79.
- PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA, J.A.; KUPPER, A. 1984. Fontes, modo de aplicação e doses de zinco, na produção do cafeeiro em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Húmico. *In: CONGRESSO BRASILEIRO, DE PESQUISAS CAFEEIROS*, 1. Londrina. Resumos... Rio de Janeiro. MIC/IBC. p. 203-205.
- PEREIRA, J.E.; SANTINATO, R.; MIGUEL, L. 1976. Levantamento do estado nutricional do cafeeiro com base na análise foliar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIROS*, 5. Caxambu. Resumos... Rio de Janeiro. MIC/IBC. p. 159-164.
- PITMAN, M.G. 1970. Active H⁺ efflux from cells of low-salt barley roots during salt accumulation. *Plant Physiol.* 45: 787-790.
- POLAR, E. 1975. Zinc in pollen and its incorporation into seeds. *Planta*, 123: 97-103.
- POLAR, E. 1978. Variation in zinc content of subcellular fractions from young and old roots, stems and leaves of broad beans (*Vicia faba* L.). *Physiol. Plant.*, 38: 159-165.
- POOVAIAH, B.W. & LEOPOLD, A.C. 1978. Effects of inorganic salts on tissue permeability. *Plant Physiol.*, 58: 182-185.
- PRASKE, J.A. & PLOCKE, D.J. 1971. A role for zinc in the structural integrity of the cytoplasmic ribosomes of *Euglena gracilis*. *Plant Physiol.*, 48: 150-155.
- RAJU, T. 1981. Micronutrients disorders in arabica coffee - causative factors and curative measures. *Indian Coffee*, 45: 85-89.
- RAJU, T.; DESHPANDE, P.B.; RAMAIAH, P.K. 1987. Investigation on factors associated with "little leaf" syndrome in coffee. *Indian Coffee*. 51: 31-38.
- RAMAIAH, P.K.; RAO, M.V.K.; CHOKKANNA, N.G. 1964. Zinc deficiency and the aminoacids of coffee leaves. *Turrialba*, 14: 136-139.
- RAMANI, S.; KANNAN, S. 1985. Studies on translocation of zinc in bean plants: evidence for retranslocation during new growth. *J. Plant Nutr.*, 121: 313-318.

- RANDALL, P. J. & BOUMA, D. 1973. Zinc deficiency, carbonic anhydrase, and photosynthesis in leaves of spinach. *Plant Physiol.*, 52: 229-232.
- RAO, W.K. 1978. Trace element nutrition of coffee. *Indian Coffee*, 42: 315-316.
- RATHORE, V. S. ; BAJAJ, Y.P.S.; WITTWER, S.H. 1972. Subcellular localization of zinc and calcium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) tissues. *Plant Physiol.*, 49: 207-211.
- RAUSER, W.E. 1973. Zinc toxicity in hydroponic culture. *Can. J. Bot.*, 51: 301-304.
- RAUSER, W.E. 1981. Entry of sucrose into minor veins of bean seedlings exposed to phytotoxic burdens of Co, Ni or Zn. *J. Plant Nutr.*, 3: 319-328.
- RAUSER, W.E. & SAMARAKOON, A.B. 1980. Vein loading in seedlings of *Phaseolus vulgaris* exposed to excess cobalt, nickel and zinc. *Plant Physiol.*, 65: 578-583.
- REDDY, M.R.; PERKINS, H.F. 1974. Fixation of zinc by clay minerals. *Soil Sci. Am. Proc.*, 38: 229-237.
- RENA, A.B. 1989. Adubação foliar no cafeeiro. *Inf. Agron.*, 46: 1-2.
- RENA, A. B. ; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. 1990. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de uréia e cloreto de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16. Espírito Santo do Pinhal. Resumos... Rio de Janeiro. MIC/IBC. p. 40.
- RODRIGUES, O. 1988. *Efeito da deficiência hídrica na fotossíntese, na resistência estomática, na atividade da redutase do nitrato e no acúmulo de prolina livre em Coffea arabica* L. Imprensa Universitária, UFV, Viçosa. 52p. (Tese M.S.).
- ROSEN, J.A.; PIKE, C.S.; GOLDEN, M.L. 1977. Zinc, iron and chlorophyll metabolism in zinc toxic corn. *Plant Physiol.*, 59: 1085-1087.
- RUANO, A.; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C.H. 1987. Zinc toxicity induced variation of mineral element composition in hydroponically grown bush bean plants. 3. *Plant Nutr.*, 10: 373-384.
- RUANO, A. & POSCHENRIEDER, C.H. 1988. Growth and biomass partitioning in zinc toxic bush beans. *J. Plant Nutr.*, 11: 577-588.
- SANTA MARIA, G.E. 1988. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation wheat seedlings root. *J. Plant Physiol.*, 132: 312-317.

- SANTINATO, R. & CAMARGO, R.P. 1989. Eficiência e doses do produto comercial ager-zinco no suprimento de zinco ao cafeeiro, comparativamente ao sulfato de zinco isolado e associado ao cloreto de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15. Maringá. Resumos.. Rio de Janeiro, MIC/IBC. p.195-198.
- SCHONHERR, J. & BUKOVAC, M.J. 1970. Preferencial polar pathways in the cuticle and their relationships to ectodesmata. *Planta*. 92: 189-201.
- SCHONHERR, J. ; BUKOVAC, M.J. 1973. Ion exchange properties of isolated tomato fruit cuticular membrane: exchange capacity, nature of fixed charges and cation selectivity. *Planta*. 109: 73-93.
- SHARMA, P.N. ; CHATTERJEE, C. ; SHARMA, C.P. ; AGARWALA, S.C. 1987. Zinc deficiency and anther development in maize. *Plant Cell Physiol.* , 28: 11-18.
- SHROTRI , C.K. ; TEWARI , M.N. ; RATHORE, V.S. 1980. Effect of zinc nutrition on sucrose biosynthesis in maize. *Phytochemistry*. 19: 139-140.
- SILVA, J.B.S. 1979. *Influência de doses de sulfato de zinco aplicadas por via foliar e a produção do cafeeiro (Coffea arabica L.)*. ESAL. 62p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, O.A. & SANTINATO. R. 1986. Fontes (óxido e sulfato) de zinco. em doses crescentes. aplicadas na cova no plantio do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12. São Lourenço. Resumos.. Rio de Janeiro. MIC/IBC. p. 149-151.
- SINGH, D.P. & SINGH, S.P. 1987. Action of heavy metals on Hill activity and O₂ evolution in *Anacystes nidulans*. *Plant Physiol.* , 83: 12-14.
- TAKAKI, H. & KUSHIZAKI, M. 1970. Accumulation of free tryptophan and tryptamine in zinc deficient plants. *Plant Cell Physiol.* , 11: 793-804.
- THORNE, W. 1957. Zinc deficiency and its control. *Adv. Agron.* , 9: 31-65.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. 1970. El azufre y los microelementos en los suelos y en los fertilizantes. In: S.L.TISDALE (ed.) *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Barcelona. p. 310-382.
- TSUI, C. 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plants. *Am. J. Bot.* . 35: 172-179.
- TURNER, R.G. 1970. The subcellular distribution of zinc and copper within the roots of metal-tolerant clones of *Agrostis tenuis* Sibth. *New Phytol.* , 69: 725-731.

- TURNER, R. G. & MARSHALL, C. 1971. The accumulation of ^{65}Zn by roots homogenates of zinc-tolerant and non-tolerant clones of *Agrostis tenuis* Sibth. *New Phytol.*, 70: 539-545.
- TYREE, U. T.; SCHERBATSKOY, T. D. TABOR, C. A. 1990a. Leaf cuticles behave as asymmetric membranes. Evidence from the measurement of diffusion potentials. *Plant Physiol.*, 92: 103-107.
- TYREE, M. T.; TABOR, C. A.; WESCOTT, C. R. 1990b. Movement of cations through cuticles of *Citrus aurantium* and *Acer saccharum*. Diffusion potential in mixed salt solutions. *Plant Physiol.*, 94: 120-126.
- VALENCIA, G. A. 1988. Deficiencias minerales en relación con el metabolismo intermediario en el cafeto (*Coffea arabica* L.). *Cenicafe*, 19: 55-79.
- WITTEWER, S. H. & TEUBNER, F. G. 1959. Foliar absorption of mineral nutrients. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 10: 13-32.
- WOOLHOUSE, H. V. 1983. Toxicity and tolerance in response of plant to metals. In: *Encyclopedia of Plant Physiology*. New Series. O. L. LANGE (ed.) Springer-Verlag. New York, 12C: 246-300.
- YAMADA, Y.; JYUNG, W. H.; WITTEWER, S. H.; BUKOVAC, U. J. 1965a. The effects of urea on ion penetration through isolated cuticular membranes and ion uptake by leaf cells. *Proc. AR. Soc. Hort. Sci.*, 87: 429-432.
- YAMADA, Y.; WITTEWER, S. H.; BUKOVAC, M. J. 1964 Penetration of ion through isolated cuticles. *Plant Physiol.*, 39: 28-32.
- YAMADA, Y.; WITTEWER, S. H.; BUKOVAC, M. J. 1965b. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C^{14} urea. *Plant Physiol.*, 40: 170-175.

Stocks	47,90	99,54	259,00
Tratamientos	17.159,03 ⁸⁰	12.679,34 ⁸⁰	10.218,80 ⁸⁰
Residuo	37,83	72,79	109,93

APÉNDICE

QUADRO 1A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos, no Terceiro Par. aos 3, 30 e 60 Dias Após a Primeira Aplicação.

F. V.	GL	QM		
		3	30	60
Blocos	3	47.99	99.54	258,66
Tratamentos	16	17.159,03**	12.679,34**	16.218,86**
Resíduo	48	37,63	72.79	169.85
CV (%)		6.67	10.44	14.95

** significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F

QUADRO 2A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos. no Terceiro Par, aos 3, 30 e 60 Dias Após a Segunda Aplicação.

F. V.	GL	QM		
		3	30	60
Blocos	3	89,91	72.93	11.80
Tratamentos	13	6.616,75**	5.884,70**	5.200,20**
Resíduo	39	34,49	72.93	47,79
CV (%)		9,93	13.95	11.68

** significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 3A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos. no Primeiro Par. aos 3, 30 e 60 Dias Após a Segunda Aplicação.

F. V.	GL	QM		
		3	30	60
Blocos	3	267.17	6.17'	1.37
Tratamentos	13	37.142,05 ^{***}	17,56 ^{**}	30,82 ^{**}
Resíduo	48	249,95	1.44	3.21
CV (%)		10.43	7.93	17.02

*, ** significativo a nível de 5 e 1% de probabilidade. respectivamente. pelo teste F.

QUADRO 4A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos. no Terceiro Par, aos 3, 30 e 60 Dias Após a Terceira Aplicação.

F. V.	GL	QM		
		3	30	60
Blocos	3	69,75	183,89	123,26
Tratamentos	13	23.076,22 ^{***}	28.257,77 ^{**}	19.361,49 ^{***}
Resíduo	39	70,69	72.93	44.01
CV c m		8.63	8.32	7.05

** Significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 5A- Análise de Variância dos Teores de Ferro, Fósforo e Potássio, em Função dos Tratamentos, no Terceiro Par, aos 3 e 60 Dias Após a Primeira Aplicação.

F. V.	GL	QM					
		Fe		P		K	
		3	60	3	60	3	60
Blocos	3	82.32	52.96	$6,190 \times 10^{-4}$ **	$0,128 \times 10^{-3}$	$6,570 \times 10^{-2}$ **	$5,200 \times 10^{-2}$ **
Tratamentos	13	18,95	15.74	$0,451 \times 10^{-4}$	$0,134 \times 10^{-3}$	$0,429 \times 10^{-2}$	$0,546 \times 10^{-2}$
Resíduo	39	32.91	31.10	$0,729 \times 10^{-4}$	$0,161 \times 10^{-3}$	$1,010 \times 10^{-2}$	$0,965 \times 10^{-2}$
CV (%)		5.17	5.06	5.64	8,40	4,42	4.32

e 1% de probabilidade. pelo teste F.

se de Variância
dos Tratament
mento com Muda

QUADRO 6A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos. aos 60 Dias Após a Primeira e Terceira Aplicações, em Folhas do Terceiro Par Surgidas Após a Pulverização.

F. V.	GL	QM	
		1 ^a	3 ^a
Blocos	3	2,672*	0.490
Tratamentos	13	0.837	0,283
Resíduo	39	0,860	0.670
CV <i>c m</i>		8.74	8,12

* significativo a nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 7A- Análise de Variância do Teor Foliar de Zinco em Função dos Tratamentos e do Tempo de Absorção no Experimento com Mudas.

F. V.	GL	QM
Blocos	2	131.11
Tratamentos	4	19.965,72**
Tempo	6	13.044,66**
Trat*Tempo	24	2.732,36**
Resíduo	68	13.47
CV (%)		6,82

* t 1% de probabilidade. pelo

QUADRO 8A- Análise de variância do Teor de Zinco nas Diferentes Frações Subcelulares, em Função do Tratamento e do Tempo de Absorção.

F. V	GL	QM		
		PAREDE	CLOROPLASTO	"SOLÚVEL"
Blocos	2	70,96**	1,02	51,83**
Tratamentos	4	4.955,68**	50,40**	3.056,39**
Tempo	6	3.323,21**	29,82**	2.145,99**
Trat*Tempo	24	1391,77**	4,04**	493,43**
Resíduo	68	10,36	0.50	9,99
CV (%)		14.56	12.50	14.39

** significativo, a nível de 1% de probabilidade. pelo teste F.

* significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 9A- Análise de Variância da Área Foliar Acumulada em Função dos Diversos Tratamentos e do Tempo, para a Primeira Fase do Estudo de Crescimento.

F. V.	GL	QM
Blocos	3	14.856,45*
Tratamentos	13	14.745,68*
Erro-a	39	5.776,54
Tempo	8	1.217.112,00**
Trat*Tempo	104	1.394,82**
Erro-b	336	908,73
CV (%)		erro a 54,79 erro-b 18,15

*, ** significativo a nível de 5% respectivamente, pelo teste F.

QUADRO 10A- Análise de Variância da Função dos Diversos Tratamentos, para a Segunda Fase do Estudo de Crescimento.

F. V.	GL	QM
Blocos	3	3.000,00
Tratamentos	3	2.000,00
Erro-a	39	4.000,00
Tempo	4	1.000,00
Trat*Tempo	52	1.000,00
Erro-b	168	1.000,00
CV (%)		

** significativo a nível de 1% teste F.

QUADRO 11A- Análise de Variância da Area Foliar Acumulada, para Cada Epoca de Medição na Primeira Fase do Estudo de Crescimento.

F.V	GL	QX							
		17	26	58	76	94	108	139	159
		dias.							
Blocos	3	94,59*	460,76	1.690,42*	817,59	1.159,39	5.447,41	14.699,73**	13.947,27*
Tratamentos	13	19,48	115,89	1.283,02*	1.702,94**	2.631,52	4.256,40	7.605,65*	8.289,34*
Resíduo	39	23,47	135,56	495,42	528,72	1.497,75	2.173,84	3.213,97	3.732,55
CV (%)		34,42	32,52	20,29	15,60	20,63	20,35	15,93	14,71

*, ** significativo a nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

QUADRO 12A- Análise de Variância da Area Foliar Ac para Cada Época de Medição, na Segundo Estudo de Crescimento

F. V	GL	QM			
		18	40	65	
		dias			
Blocos	3	69.95	352.38	2.155.50	5.
Tratamentos	13	213.36	469.83	1.169.40	2.
Resíduo	39	185.18	731.14	2.285.83	4.
CV <i>c m</i>		23.55	15.07	18.66	

QUADRO 13A- Análise de Variância da Produção Média Anos em Função dos Tratamentos.

F. V.	GL	QM
Blocos	3	21,25**
Tratamentos	13	47,26**
Resíduo	39	2.13
CV (%)		12.23

** significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.