

IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO

**TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn EM
CAFEIEIRO E FEIJOEIRO, APLICADO VIA RAÍZES E FOLHAS**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
OUTUBRO - 1997
IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO**

**TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn EM
CAFEIRO E FEIJOEIRO, APLICADO VIA RAÍZES E FOLHAS**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do curso de Fitotecnia,
para obtenção do título de *Doctor
Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
OUTUBRO - 1997
IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO**

TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn EM CAFEEIRO
E FEIJOEIRO, APLICADO VIA RAÍZES E FOLHAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 10 de junho de 1997.

Paulo Cezar Rezende Fontes
(Conselheiro)

Geraldo Antônio de Andrade Araújo

Ney Sussumu Sakiyama

Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Prof. Hermínia Emília Prieto Martinez
(Orientadora)

A meus sogros.

A meus pais.

A minha esposa Dília, e a minha cunhada Carla.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade concedida.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À professora Hermínia Emília Prieto Martinez, pela orientação, pela confiança e pelo apoio durante a realização deste trabalho.

Aos professores Paulo Cezar Rezende Fontes e Roberto Ferreira de Novais, pela disponibilidade, orientação e pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos professores Ney Sussumu Sakiyama e Geraldo Antônio de Andrade Araújo, pelas valiosas sugestões, que possibilitaram o aprimoramento desta pesquisa.

Aos laboratoristas Domingos Sávio, pela amizade e pelo auxílio indispensável.

A Paulo Ricardo Tavares (in memoriam), pelo auxílio e pela grande amizade.

Aos meus pais e sogros e a minha esposa, Dília, sempre presentes e disponíveis.

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

BIOGRAFIA

IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO, filho de Ivan de Lima Franco e Flora Eleonora Alencar Franco, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, a 21 de novembro de 1965.

Em julho de 1988, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG.

Em agosto de 1991, obteve o título de “Magister Scientiae” em Solos e Nutrição de Plantas, pela UFV.

Em agosto de 1992, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia nessa mesma Instituição, tendo defendido tese em 10 de junho de 1997.

CONTEÚDO

EXTRATO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Translocação de Zn.....	1
1.1.1 Quando aplicado via foliar.....	1
1.1.2 Quando aplicado via radicular.....	3
1.2. Absorção, transporte e compartimentalização de Zn suprido em diferentes formas.....	4
1.3. Objetivos.....	9
CAPÍTULO 1.....	10
TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn APLICADO NAS FOLHAS DE CAFEEIRO E FEIJOEIRO.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4. CONCLUSÕES.....	29
CAPÍTULO 2.....	30
TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn, APLICADO VIA RAÍZES EM CAFEEIRO E FEIJOEIRO.....	30
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4. CONCLUSÕES.....	47
2. RESUMO E CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APÊNDICE.....	55

EXTRATO

LIMA FRANCO, Ivan Alencar de, DS, Universidade Federal de Viçosa, outubro de 1997. **Translocação e compartimentalização de zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas.** Professora orientadora: Herminea Emília Prieto Martinez. Professores conselheiros: Paulo Cezar Rezende Fontes, Roberto Ferreira de Novais.

Foram realizados quatro experimentos, em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, empregando-se plantas de feijão e café cultivadas em solução nutritiva. Os dois primeiros experimentos constaram de fatorial 2 x 3. Os fatores em estudo constituíram-se de cultivo em presença ou ausência de Zn na solução nutritiva e, aplicações foliares de soluções aquosas sem zinco, com ZnEDTA (0,31%) e com ZnSO₄ (0,40%). Os dois últimos experimentos foram instalados em sistema de vasos geminados, sendo o sistema radicular igualmente dividido nos dois recipientes. Em um dos recipientes geminados foi adicionada uma solução sem Zn, e, no outro, foram aplicadas doses crescentes do elemento (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 µmol/L), as quais constituíram os tratamentos. O delineamento experimental utilizado para os quatro ensaios foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Nos dois primeiros experimentos, em ambas as espécies, o Zn fornecido pelo ZnSO₄ foi mais adsorvido à cutícula da folha que o fornecido pelo ZnEDTA, demonstrando ser esta uma importante barreira a sua absorção. O estado

nutricional do feijoeiro quanto ao Zn demonstrou ser uma característica importante no melhor aproveitamento do Zn aplicado via foliar. Em condição de inadequada nutrição em Zn, em ambas as espécies, a utilização de ZnEDTA mostrou ser mais eficiente, em termos de translocação do Zn para fora da folha em que foi aplicado. Quando foi aplicado ZnSO₄ às folhas de cafeeiro, crescidas em solução nutritiva não contendo Zn, houve acúmulo de Zn no caule, indicando que há uma grande afinidade do Zn⁺⁺ do sulfato com as cargas livres existentes nos vasos condutores. Nos dois últimos experimentos, para plantas de feijoeiro, o Zn apresentou mobilidade no floema, havendo translocação da parte aérea para o sistema radicular. Já as plantas de cafeeiro demonstraram apresentar mínima mobilidade ou mesmo imobilidade de Zn no floema. As plantas de feijoeiro apresentaram resposta linear crescente, tanto para teor, como para conteúdo de Zn nas diferentes partes analisadas em função do aumento das doses de Zn, a que metade do sistema radicular estava submetido. Plantas de cafeeiro apresentaram mínima alteração no peso da matéria seca, no conteúdo e teor de Zn da parte aérea, em resposta às doses de Zn fornecidas à metade do sistema radicular. O aumento das doses de Zn propiciaram acúmulo preferencial do elemento no caule, tanto do cafeeiro quanto do feijoeiro.

ABSTRACT

LIMA FRANCO, Ivan Alencar de, DS, Universidade Federal de Viçosa, October, 1997. **Translocation and compartmentalization of Zn in bean and coffee plants, applied via roots and leaves.** Advisor: Hermínea Emília Prieto Martinez. Committee Members: Paulo Cezar Rezende Fontes and Roberto Ferreira de Novais.

Four experiments were conducted at the Universidade Federal de Viçosa using beans and coffee plants in a nutritive solution. In the first two experiments, with foliar application, two Zn levels were tested in the nutritive solution (sufficiency and deficiency) and three forms of Zn supply to plants (ZnEDTA at 0.31% concentration was applied superficially on the leaf surface; ZnSO₄·7H₂O at 0.4% concentration was applied superficially on the leaf surface; and a control without Zn application on leaves) on a 2x3 factorial scheme. The last two experiments, with radicular application, were installed on a geminate vase-system, where the root system was divided equally on both recipients. In one of those geminate systems, a solution without Zn was added while in the other increasing doses of the element (0.0; 0.5; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 µmol/L) were applied, composing the treatments. In all four tests a randomized block experimental design with four replicates was used. In the first two experiments, for both species, ZnSO₄ was more adsorbed by the leaf cuticle than ZnEDTA, thus demonstrating to be an important barrier against its absorption. The

nutritional state of Zn in the bean plant proved to be an important characteristic for a better utilization of Zn applied via leaves. Under conditions of inadequate Zn nutrition, in both species, the utilization of ZnEDTA showed more efficiency in terms of Zn translocation out of the leaf in which it was applied. When ZnSO₄ was applied on coffee tree leaves, which were grown in nutritive solution without Zn, occurred Zn accumulation in stems indicating a great affinity of sulphate Zn⁺⁺ with free charges existing in the conducting vases. In the radicular supply, Zn presented mobility in the bean plant phloem indicating its retranslocation from the aerial part to the root system. In the coffee tree phloem there was a minimum mobility or even immobility of Zn. Bean plants showed an increasing linear response for the concentration as well as for content of Zn in the different analyzed parts as a function of Zn doses. Coffee plants presented minimum changes in dry matter weight and Zn content and concentration in the aerial part. Zn accumulated preferentially on the stem of either bean plants and coffee trees.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Translocação de Zn

1.1.1 Quando aplicado via foliar

O zinco é elemento essencial para a planta. Sua essencialidade para a função e, ou, estrutura de diversas desidrogenases, proteinases e peptidases encontradas em plantas é relatada por RÖMHELD e MARSCHNER (1991). É classificado como elemento parcialmente móvel na planta (BUKOVAC e WITTWER, 1957; PEASLEE et al., 1981). Entretanto, FAVARO (1992), estudando a aplicação foliar de zinco em cafeeiro, observou baixíssima mobilidade ou mesmo imobilidade do zinco, quando aplicado em folha madura. THORNE (1975) relata que o zinco, como o ferro e o cálcio, não é retranslocado de folhas velhas para as mais jovens, durante o crescimento, sendo também observado por PEASLEE et al. (1981), em plantas de milho, que a absorção e translocação de zinco foram maiores, quando o elemento foi aplicado em folhas novas, que quando a aplicação se deu em folhas maduras.

Quando o Zn é aplicado via foliar, existem evidências conflitantes a respeito da retranslocação para outros tecidos. ORPHANOS (1975) relata que, quando o ápice da macieira foi protegido da pulverização com Zn, folhas

desenvolvidas após aplicação não apresentaram um maior conteúdo de zinco, indicando translocação limitada de folhas velhas para as novas. Entretanto, WALLIHAN e HEYMANN-HERSCHBERG (1956) observaram translocação de ^{65}Zn das folhas de citrus, quando aplicaram ZnCl_2 marcado em forma de gotas ou cobrindo inteiramente a folha, sendo a translocação maior quando ^{65}Zn foi aplicado próximo ao centro da folha. McGRATH e ROBSON (1984c), também, observaram em *Pinus radiata* mobilização de Zn de acículas velhas para acículas em crescimento, sendo a mobilização maior em plantas crescidas com suprimento adequado, que naquelas crescidas com deficiência em Zn.

A mobilização de Zn para fora de folhas velhas parece depender do status nutricional de Zn na planta. Nesse sentido, RICE MAN e JONES (1958) observaram que os teores de Zn total em folhas e pecíolos decresceram, havendo um acúmulo de Zn em sementes e inflorescência de trevo subterrâneo, sendo o decréscimo maior em plantas com suprimento adequado de Zn. Já PEARSON e RENGEL (1994), estudando a distribuição e remobilização de Zn, durante o desenvolvimento do grão em trigo, observaram que o Zn se acumulou nas folhas até 14 dias pós antese, em plantas crescidas em condição de suficiência em Zn, e postas, durante a antese, em solução sem Zn. Após 14 dias, o Zn foi remobilizado para os grãos, até a maturidade. Plantas desenvolvidas com deficiência de Zn exibiram comportamento similar, mas com quantidades de Zn substancialmente menores. Entretanto, em termos proporcionais, ocorreu maior remobilização de Zn das folhas crescidas com deficiência de Zn. PEARSON e RENGEL (1994) justificaram essa observação com base na grande demanda pelo Zn criada nas sementes de plantas crescidas na ausência desse micronutriente.

O status nutricional influencia também a localização do zinco na folha. OHKI (1977) relatou que, com o aumento do suprimento de zinco, o seu conteúdo é mais uniformemente distribuído entre o pecíolo e o limbo de folhas de soja. A concentração de zinco no pecíolo ficou em torno de 7 mg Kg⁻¹ de matéria seca em plantas de soja que mostraram sintomas de deficiência, mesmo quando a concentração do elemento no limbo aumentou, em resposta ao aumento do suprimento. REUTER et al. (1982) também observou em trevo subterrâneo,

adequadamente suprido em zinco, uma menor concentração do elemento pecíolo, em comparação ao limbo, sendo que essa diferença aumentou com a idade da folha e com o aumento do suprimento. O autor relatou, também, que, em plantas deficientes, tecidos jovens apresentaram maior concentração em zinco que folhas velhas e, com o aumento do suprimento, o zinco acumulou-se em folhas velhas e sua concentração tornou-se maior que em tecidos novos.

A aplicação foliar de zinco, apesar de bem estudada, tem sido motivo de controvérsia a respeito da concentração e da fonte de zinco mais adequada na solução de pulverização. Assim, Blanco et al. (1978), citados por FRANCO (1982), estudaram a absorção de Zn na forma de vários compostos (sulfato, cloreto, nitrato, acetato e quelato) pela folha do cafeeiro e constataram que o sulfato foi o que resultou na mais rápida absorção. Por outro lado, GARCIA e SALGADO (1981) concluíram que cloreto de zinco, nitrato de zinco e associação de sulfato de zinco com cloreto de potássio proporcionaram absorção de zinco em maiores quantidades que sulfato de zinco isoladamente.

GUIMARÃES et al. (1983), estudando doses de sulfato de zinco aplicados em alto volume, mostraram que a aplicação de sulfato de zinco a 0,5%, via foliar, três vezes ao ano, propiciaram aumento de 64% na produção de café, com o teor de zinco na folha de 21 µg/g, valor acima do qual a produção caiu. Já FÁVARO (1992), estudando os efeitos da aplicação de uréia e de níveis crescentes de cloreto de potássio em conjunto com sulfato de zinco, sobre a produção de café, observou que a produção máxima foi obtida, com 20 µg/g de zinco nas folhas e 10% de redução da produção máxima, correspondentes a níveis críticos de deficiência e de toxicidade, nas concentrações de 6 e 47 µg/g, respectivamente. A obtenção do nível foliar de Zn, associado à máxima produção, foi conseguido com concentrações das soluções de pulverização abaixo do normalmente recomendado, situando-se na faixa de 0,1 a 0,2% de sulfato de zinco, acrescentando-se cloreto de potássio a 0,2%.

1.1.2 Quando aplicado via radicular

Em experimentos com trigo, utilizando-se raízes subdivididas, LONERAGAN et al. (1987) e MARSH et al. (1985) observaram certa mobilidade do zinco da parte do sistema radicular, que o recebeu, para a outra parte do sistema radicular que não o recebeu, o que caracterizou certa mobilidade do elemento dentro do floema. Nesse mesmo sentido, WEBB e LONERAGAN (1990) relataram que a produção de matéria seca de plantas de trigo foi similar, quando o zinco foi fornecido em uma ou em ambas as partes do sistema, sendo a translocação de Zn de 1,0 a 1,5 mg kg⁻¹ de matéria seca/dia, do 18^o ao 36^o dia, no tratamento em que o Zn era fornecido somente em um dos vasos que continham o sistema radicular subdividido. PEARSON e RENGEL (1995a), estudando o crescimento de plantas de trigo em condição de suficiência e deficiência de Zn, ao colocarem parte das raízes imersas em solução com ⁶⁵Zn, observaram que plantas com 14 e 42 dias de idade tiveram cerca de 25% do total do ⁶⁵Zn transportado, distribuído na raiz não-exposta ao Zn marcado, atribuindo esse fato à criação de uma demanda por Zn. As raízes não-expostas de plantas, pré crescidas sob deficiência de Zn, continham maior porcentagem de ⁶⁵Zn translocado, em comparação com as plantas crescidas em condição de suficiência. As plantas crescidas em condição de deficiência alocaram mais Zn no caule, em relação as raízes não-expostas, em termos percentuais. Observaram, também, que folhas novas receberam mais Zn, quando as plantas foram crescidas em condição de suficiência em Zn, que folhas velhas. Já em plantas crescidas em condição de deficiência, ocorreu maior acúmulo de Zn em folhas velhas. Esses autores sugeriram que, em condição de deficiência de Zn, pode ocorrer redução na atividade metabólica em virtude do requerimento de Zn em processos fisiológicos e, como conseqüência, ocorre uma redução na atividade transpiratória de folhas, individualmente. Os autores relataram ainda que o Zn foi translocado das raízes para a parte aérea, via transpiração, mas o transporte para as outras partes do sistema radicular pode requerer penetração no floema.

1.2. Absorção, transporte e compartimentalização de Zn suprido em diferentes formas

A forma como o zinco é transportado no xilema ainda não é bem conhecida. TIFFIN (1967), baseando-se em eletroforese de fluído de xilema, concluiu que o Zn é transportado principalmente como cátion. Já WHITE et al. (1981) relataram que o Zn é transportado principalmente na forma de complexo com citrato em soja e na forma de complexo com malato em tomate. McGRATH e ROBSON (1984c), em estudos de exsudato de caule de *Pinus radiata*, observaram que o movimento de ^{65}Zn não-complexado foi muito baixo, sendo a maioria retida na porção basal do segmento, relatando ainda que a formação de complexo com EDTA ou citrato aumentou a quantidade de Zn, passando através do caule. Já McGRATH e ROBSON (1984b) observaram que o movimento de ^{65}Zn , recentemente absorvido através do caule de plantas de *Pinus radiata*, foi menor em plantas com baixo suprimento em Zn, resultando em maior acúmulo de ^{65}Zn no caule dessas plantas, que naquelas com alto suprimento em Zn. PEARSON e RENGEL (1994) observaram, em plantas de trigo, armazenamento temporário de Zn no caule, relatando que esse fato pode ser um evento importante para íons relativamente imóveis dentro do floema, sendo que a remobilização do íon dentro do caule poderia ser feita via xilema. Nesse sentido, observaram, também, em plantas crescidas em deficiência, que nenhum Zn foi retirado do caule nos primeiros 14 dias do desenvolvimento do grão, sendo quantidades substanciais retiradas do caule após esse período até o amadurecimento do grão. Já em plantas crescidas com suficiência em Zn, o Zn foi rapidamente remobilizado no início do desenvolvimento do grão. PEARSON e RENGEL (1995b), utilizando ^{65}Zn em experimento do mesmo tipo, observaram que grande proporção do ^{65}Zn acumulou-se no caule e folhas de plantas de trigo pré-crescidas com deficiência de Zn, sendo que foi encontrado mais ^{65}Zn no caule que nas folhas.

FAVARO (1992) relata que a imobilidade do zinco aplicado às folhas de cafeeiro deve estar relacionada ao pequeno transporte desse elemento no floema, ou à forma na qual ele se encontra no tecido vegetal. A pequena mobilidade do zinco é também citada por CLARKSON e HANSON (1980) como,

possivelmente, decorrente de pequena capacidade de ligação a quelatos aniônicos. Nesse sentido, FAVARO (1992) concluiu que o pequeno transporte de zinco, quando aplicado na forma de sulfato de zinco, ocorre, provavelmente, por sua permanência nas folhas, na forma de íons livres. Já VAN GOOR e WIERSMA (1976) submeteram exsudato de floema de mamona *Ricinus communis*, crescida em solução nutritiva contendo 65ZnCl_2 , à eletroforese em papel, e observaram que a maioria do 65Zn estava presente em forma negativa, indicando uma ligação com compostos orgânicos. Também, em estudo de exsudato de floema de mamona, SCHIMIDKE e STEPHAN (1995) observaram que o Zn apresentou certa mobilidade, sugerindo que o Zn era transportado principalmente na forma de complexo com nicotianamina. RAMANI e KANNAN (1985) constataram que o Zn apresentou mobilidade em folhas primárias de feijão. Entretanto, havia maior redução do Zn fornecido na forma de ZnEDDHA que ZnCl_2 , em folhas primárias, indicando maior translocação do ZnEDDHA.

Em estudos utilizando ZnEDTA, FERRANDON e CHAMEL (1988) constataram maior mobilidade do zinco nessa forma, em comparação à forma de sulfato, sugerindo que o EDTA funciona como carregador natural, como o citrato para o ferro. Entretanto, a absorção foliar do zinco foi menor com EDTA que quando aplicado na forma de sulfato, sendo ainda relatado pelos autores que a menor absorção de ZnEDTA pode ser ligada a sua menor adsorção cuticular e que a maior absorção de ZnSO_4 encontrada pode estar incluindo, em alta proporção, o elemento ainda retido na cutícula. Observações semelhantes também foram feitas por RAMANI e KANNAN (1985), em feijão, e por MALAVOLTA et al. (1996), em café, quando compararam a absorção foliar do ZnCl_2 com ZnEDTA, sendo que a distinção entre o que é retido na cutícula também não foi feita por esses autores.

Com a aplicação radicular do Zn, McGRATH e ROBSON (1984c), comparando a absorção de ZnSO_4 e Zn-EDTA, observaram que, na concentração de 3 ou 30 $\mu\text{mol/L}$, o Zn moveu-se menos rapidamente através de caules seccionados de *Pinus radiata*, quando suprido na forma de ZnSO_4 , que quando

suprido como ZnEDTA. Também, em aplicação radicular de Zn, em plantas de trigo bem nutridas e mal-nutridas em Zn, ZHANG (1993) observou que, com o aumento da concentração do elemento na solução nutritiva, ocorreu aumento de sua taxa de absorção, sendo essa taxa maior em todas as concentrações, em plantas deficientes. A absorção foi menor quando o Zn foi suprido na forma de ZnEDTA que, quando fornecido como ZnSO₄, em virtude de diferentes taxas de ligação do Zn ao apoplasto da raiz. O autor justificou o observado com o largo pool de Zn ligado ao apoplasto encontrado em plantas supridas com ZnSO₄, como sendo muito menor, quando o Zn foi suprido na forma de quelato, pelo fato de os quelatos não serem retidos pelas cargas negativas da parede celular.

A forma química pela qual o zinco é fornecido afeta não só a sua absorção como, também, sua mobilidade na planta. Um fator que afeta grandemente a absorção foliar de formas químicas dos nutrientes é a cutícula, pois apresenta a capacidade de reter, diferentemente, essas formas, fazendo com que o nutriente seja considerado absorvido, quando, na realidade, se encontra retido na cutícula. Nesse sentido, BRUNE et al. (1994), estudando a compartimentação de Zn em folhas primárias de cevada, observaram que a adsorção de Zn na cutícula foi 100 vezes mais rápida que a absorção de Zn propriamente dita.

As cutículas das plantas são constituídas de polímeros de composição heterogênea. A adsorção na superfície e a penetração de íons através das cutículas, as quais cobrem a superfície da folha, são pré-requisitos para a absorção ativa de íons por suas células (YAMADA et al., 1964). SCHONHERR e BUKOVAC (1973) investigaram a capacidade de troca de cutículas isoladas de frutos de tomates, direta e quantitativamente, observando três grupos em pH variando de 3 a 6 (0,2 meq/g), 6 a 9 (0,3 meq/g) e 9 a 12 (0,55 meq/g), sendo os dois primeiros grupos identificados como -COOH-, o terceiro grupo como OH-. SCHONHERR e HUBER (1977) relataram que as cutículas das plantas são polieletrólitos, com capacidade de trocar cátions e ânions dependente do pH, citando, ainda, que as cargas positivas originaram-se de resíduos de aminoácidos básicos de proteínas ou polipeptídeos, contidos em uma forma não-extraível dentro da cutícula. Pela alta capacidade de troca da cutícula e, conseqüentemente,

alta capacidade de adsorver íons, ela representa a primeira barreira à penetração de íons. CHAMEL e NEWMANN (1987), estudando a adsorção e penetração de níquel em cutículas isoladas de tomateiro, observaram ser esse elemento grandemente retido nos sítios de ligação da cutícula, não sendo facilmente lavado pela água das chuvas. Esse fator é extremamente importante na avaliação da aplicação foliar, pois análises de tecidos, seguidas à aplicação foliar, podem não mostrar o conteúdo real do elemento imediatamente disponível para as plantas. Transposta a barreira imposta pela cutícula, os íons movimentam-se livremente no apoplasto foliar, sem restrição alguma, até o ponto de entrada no simplasto, o que caracteriza a absorção propriamente dita.

POLAR (1976), investigando a distribuição subcelular de zinco, em várias frações de raízes e folhas de feijão, observou que a maioria do zinco estava presente na fração solúvel e ribossomal de tecidos jovens, sendo que em raízes a segunda maior fração de zinco estava na parede celular. Entretanto, com o envelhecimento de folhas e raízes, queda geral na concentração foi seguida por similar queda na concentração do metal associado com a fração solúvel e ribossomal, tornando a distribuição de zinco mais uniforme. Essa tendência foi justificada pelo pesquisador como sendo decorrente da sistemática queda geral da atividade específica de folhas e raízes com a idade, influenciando a fração solúvel e ribossomal onde a atividade metabólica é máxima. TURNER (1970), nesse mesmo sentido, observou, ao analisar as frações subcelulares de raízes de *Agrostis tenuis*, que a parede celular respondeu pelo maior conteúdo de zinco em clones tolerantes, demonstrando ser a parede celular um importante sítio de acúmulo no mecanismo de tolerância a metais pesados. Já SANTA MARIA e COGLIOATTI (1988), estudando o fluxo bidirecional de Zn em raízes de trigo, relataram que, para um volume do espaço livre aparente, entre 8 e 14% do total da raiz, a concentração de zinco no espaço livre aparente pode ser de até 0,53 $\mu\text{mol/L}$, sugerindo uma alta adsorção no espaço livre de Donnan. As folhas de plantas tolerantes podem acumular Zn no vacúolo como complexo com ácidos orgânicos, podendo ser este o principal meio pelo qual as células acomodam níveis inibitórios de Zn (KROTZ et al., 1989).

1.3. Objetivos

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo geral procurar esclarecer os aspectos que influenciam a compartimentalização e a mobilidade de Zn em plantas de cafeeiro e feijoeiro, a partir da aplicação de Zn via radicular e foliar, sendo os seguintes os objetivos específicos:

- Avaliar a mobilidade do Zn aplicado via folhas e raízes, estando as plantas em condições de nutrição adequadas e sob deficiência desse nutriente.
- Avaliar a mobilidade do Zn no xilema e no floema em plantas com diferentes níveis nutricionais.
- Estudar a eficiência da absorção foliar de Zn relacionada a diferentes fontes do elemento.
- Verificar a existência de possíveis relações entre a eficiência de absorção de Zn relacionada a fontes desse nutriente e estado nutricional da planta.
- Estudar a compartimentação do Zn aplicado via foliar na forma de ZnSO₄ e ZnEDTA em plantas com diferentes estados nutricionais.

CAPÍTULO 1

TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn APLICADO NAS FOLHAS DE CAFEIEIRO E FEIJOEIRO

1. INTRODUÇÃO

Quando se utiliza Zn, via foliar em plantas, a fim de prevenir a deficiência em um estágio crítico do crescimento da planta, a sua penetração depende de vários fatores, tais como: características das folhas, particularmente das cutículas que as recobrem, técnica de pulverização, condições climáticas e as características químicas da solução aplicada. Em relação à última característica, a natureza do ligante associada com o Zn pode ser de grande significância para a habilidade do componente se mover através da cutícula e translocar-se dentro do tecido vascular (RAMANI e KANNAN, 1985).

Diferenças têm sido mostradas entre a aplicação de quelatos e sais de Zn, tanto na absorção quanto na translocação em feijoeiro (RAMANI e KANNAN, 1985), em cafeeiro (MALAVOLTA et al., 1996), e em outras culturas (FERRANDON e CHAMEL, 1988; ZHANG, 1993). Nesse sentido, o ZnSO₄, em comparação com o ZnEDTA, apresentou maior adsorção na cutícula (FERRANDON e CHAMEL, 1988). O ZnEDTA parece apresentar maior

mobilidade que o sulfato de zinco, indicando que os ligantes funcionam como carregadores do Zn (SCHIMIDKE e STEPHAN, 1995; RAMANI e KANNAN, 1985; Mcgrath e Robson, 1984 citados por LONGNECKER e ROBSON, 1993).

A mobilidade do Zn e, conseqüentemente, sua eficiência quando aplicado às folhas parecem ser influenciadas pelo teor desse nutriente na planta. PEARSON e RENGEL (1994) observaram comportamento diferenciado na translocação de Zn entre plantas de trigo crescidas em condições de suficiência e deficiência em Zn, sendo que plantas crescidas em condição de suficiência retranslocaram quantidades maiores que plantas crescidas em condição de deficiência. No entanto, em termos proporcionais, as plantas crescidas em deficiência retranslocaram mais Zn. RICIMAN e JONES (1958) também observaram maior retranslocação de Zn de folhas de plantas crescidas em condição de suficiência para as sementes, em relação a plantas deficientes.

O presente estudo teve como objetivos avaliar a mobilidade e a compartimentalização do Zn aplicado nas formas de ZnSO₄ e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro, em condições de suficiência e deficiência em Zn, avaliando os aspectos da eficiência da absorção foliar, em função de diferentes fontes de Zn e das condições de nutrição relacionadas a esse micronutriente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí vermelho) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ouro Negro) foram utilizadas neste trabalho que constou de dois períodos experimentais, em casa de vegetação, ambos em hidroponia estática com arejamento constante e pH das soluções mantido em $5,0 \pm 0,5$. Para o primeiro ensaio, instalado em 21.10.94, as mudas de cafeeiro foram obtidas por semeadura em germinador, sendo, 30 dias após, selecionadas e transferidas para bandejas de 26L de capacidade, contendo solução nutritiva aerada. A solução nutritiva utilizada foi a de CLARK (1975), contendo a seguinte composição básica: Ca^{++} 2,565 mmol/L; NO_3^- 7,26 mmol/L; K^+ 1,8 mmol/L; NH_4^+ 0,9 mmol/L; Mg^{++} 0,7 mmol/L; SO_4^- 0,603 mmol/L; H_2PO_4^- 0,069 mmol/L; Mn 7 $\mu\text{mol/L}$; Zn^{++} 2 $\mu\text{mol/L}$; Mo 0,086 $\mu\text{mol/L}$; Cu^{++} 0,5 $\mu\text{mol/L}$ e Fe 38 $\mu\text{mol/L}$. Todas as soluções-estoque de macronutrientes foram submetidas à técnica de purificação para remoção de Zn, com o reagente pirrolidina ditiocarbamato de amônio, usando-se como solvente o clorofórmio (FONTES, 1986). Dentre os micronutrientes, somente o cloreto férrico foi purificado, utilizando-se a resina de troca catiônica Dower 1X - 8 (FONTES, 1986) .

Metade das bandejas utilizadas continham solução completa (Zn presente) e a outra metade a mesma solução, omitindo-se o Zn. Após seis meses, as plantas de café foram transferidas para vasos de 8L de capacidade (duas plantas por

vaso), totalizando 66624 vasos, com solução completa na metade e omitindo-se Zn na outra metade dos vasos, durante 30 dias. As plantas, com 10 a 11 pares de folhas, foram submetidas à omissão de Zn. Dois dias após, o 5º par de folhas, contado a partir da base, foi pincelado com ZnSO₄·7H₂O a 0,4% ou ZnEDTA a 0,31%, havendo a testemunha que não recebeu pincelamento. O volume total de solução de ZnSO₄ ou ZnEDTA pincelada foi 0,8 ml em quatro vezes durante o dia, totalizando 727,2 µg de Zn por planta. Foram constituídos seis tratamentos, num fatorial 2x3 correspondendo a dois níveis de Zn na solução nutritiva de pré-tratamento (suficiência e deficiência) e três formas de suprimento de Zn às plantas (ZnEDTA em pincelamento na folha; ZnSO₄ em pincelamento na folha e testemunha sem receber aplicação de Zn na folha), em blocos ao acaso com quatro repetições.

O segundo ensaio foi instalado e conduzido da mesma forma que o primeiro. Após germinação, metade das mudas de feijão permaneceram 15 dias em bandejas com solução completa e outra metade em bandejas, com solução sem Zn, sendo então transferidas para os vasos definitivos, com 8L de capacidade, duas plantas por vaso. As plantas continuaram recebendo os mesmos tratamentos, ou seja, solução completa e deficiente em Zn, por 30 dias, após os quais foram submetidas à omissão de Zn por dois dias. Após esse período, foram efetuados os pincelamentos. Os tratamentos foram distribuídos da mesma forma que no ensaio anterior, com as mesmas soluções, número de tratamentos e repetições, sendo também o 50 trifólio pincelado.

Os dois ensaios foram avaliados quatro dias após o pincelamento. Foram coletadas folhas da porção inferior, média e superior, além do caule e raiz (Figura 1). As partes das plantas foram lavadas em água desionizada, secas à temperatura de 70-75°C, até peso constante, sendo, posteriormente, pesadas e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. As concentrações de Zn foram obtidas por espectrofotometria de absorção atômica. Calculou-se o conteúdo total de Zn (concentração de Zn em µg/g na parte analisada x matéria seca total em g da parte analisada) em todas as partes. As folhas da porção mediana (FM) foram divididas ao meio, sendo uma metade de cada folha utilizada para a obtenção do

conteúdo total de Zn e a outra metade foi submetida ao fracionamento celular por centrifugação diferencial, conforme FÁVARO (1992), obtendo-se o conteúdo de Zn (conc. de Zn em $\mu\text{g/g}$ na fração analisada x matéria fresca total em gramas) na fração solúvel e na parede celular. Amostras das plantas-testemunhas foram também coletadas e analisadas da mesma forma.

Nos dois ensaios, os resultados de conteúdo de Zn foram discutidos em forma de incrementos (acréscimos) de Zn na parte da planta considerada, obtidos pela subtração do conteúdo na parte analisada da planta-testemunha do conteúdo de Zn na parte equivalente analisada das plantas que receberam os tratamentos (ZnSO_4 , ZnEDTA) de modo que o delineamento experimental passou a ser um fatorial 2×2 , sendo os fatores: pincelamento com ZnSO_4 e ZnEDTA e os dois estados nutricionais das plantas. Os dados de incrementos no conteúdo de Zn das diferentes partes analisadas da planta foram transformados e discutidos, também, em termos de conteúdo relativo de Zn (%) nas diferentes partes da planta.

Com base nos resultados de incrementos no conteúdo de Zn das diferentes partes em que as plantas foram divididas, obtiveram-se os valores de Zn adquirido, translocado e retido na parte aérea da seguinte forma:

Zn adquirido = somatório dos acréscimos no conteúdo de Zn de todas as partes analisadas da planta;

Zn translocado = diferença entre o Zn adquirido pela planta e o acréscimo no conteúdo de Zn da folha média pincelada;

Zn retido na parte aérea = somatório dos acréscimos no conteúdo de Zn de todas as partes analisadas da parte aérea.

Com base nos resultados do fracionamento celular, calculou-se o Zn adquirido pela folha, e o Zn lixiviado e, ou, translocado da folha da seguinte forma:

Zn adquirido = somatório do acréscimo no conteúdo de Zn na parede celular e do acréscimo no conteúdo de Zn da fração solúvel;

Zn lixiviado e, ou, translocado = diferença entre a quantidade de Zn aplicado via pincelamento e o Zn adquirido pela folha.

Realizou-se a análise de variância para todas as características estudadas, procedendo-se também ao teste de média (Duncan a 5%).

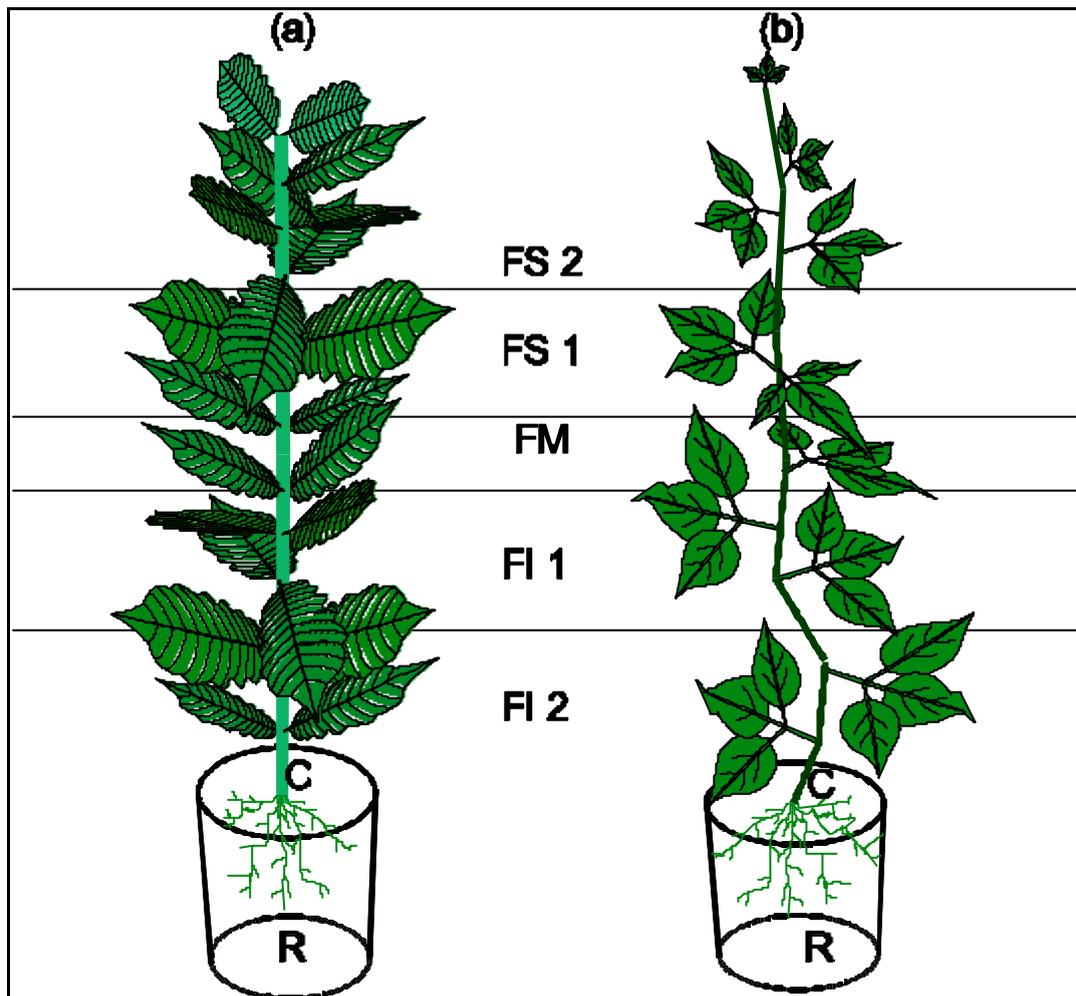


Figura 1 - Representação esquemática da divisão de plantas de café (a) e feijão (b) na colheita: FI2, folha inferior 2; FI1, folha inferior 1; FM, folha média (5ª folha ou trifólio); FS1, folha superior 1; FS2 folha superior 2 ; R, raiz; C, caule.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de feijão (Figura 2) foram as que adquiriram a maior quantidade do Zn (μg) aplicado nas folhas, sendo que as plantas de café tiveram do total aplicado de Zn, mais de 90% (Figura 3) lixiviado e, ou, translocado da folha média. Somente nas plantas de feijão pinceladas com ZnEDTA, a quantidade de Zn adquirida pelas folhas de plantas bem nutridas diferiu da quantidade adquirida por plantas mal-nutridas, tanto em termos percentuais quanto quantitativos (Figuras 2 e 4). As plantas bem nutridas adquiriram maior quantidade de Zn. Já, em plantas de cafeeiro, não houve diferença em termos de Zn adquirido, quando se levou em consideração o estado nutricional em qualquer das formas de pincelamento (Figuras 3 e 5).

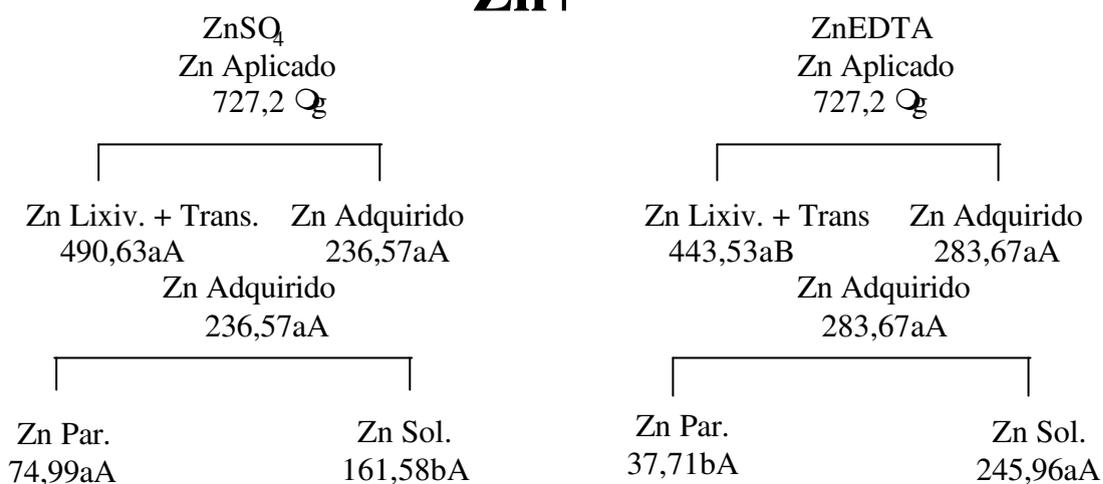
No feijoeiro, quando se procedeu o fracionamento celular da folha média, observou-se uma diferença significativa entre as formas de pincelamento para as frações de Zn solúvel e retida em parede, tanto no conteúdo em (μg) quanto em percentual. Plantas de feijoeiro crescidas tanto em presença quanto em ausência de Zn apresentaram o mesmo comportamento quanto à forma de Zn utilizada no pincelamento (Figuras 2 e 4) indicando, em ambos os casos, que o Zn fornecido como ZnSO₄ apresenta maior adsorção na parede celular que o Zn fornecido como o ZnEDTA. Essa observação foi semelhante às observações de vários autores (RAMANI e KANNAN 1985; FERRANDON e CHAMEL 1988; ZHANG 1993), os quais relataram que o ZnSO₄ apresentou alta adsorção à parede celular, em relação ao ZnEDTA, justificando esse fato a alta afinidade que

o Zn^{++} liberado do $ZnSO_4$ tem pelas cargas existentes na parede celular, o que não acontece com o Zn do $ZnEDTA$ o qual apresenta-se quelatizado, portanto sem cargas livres.

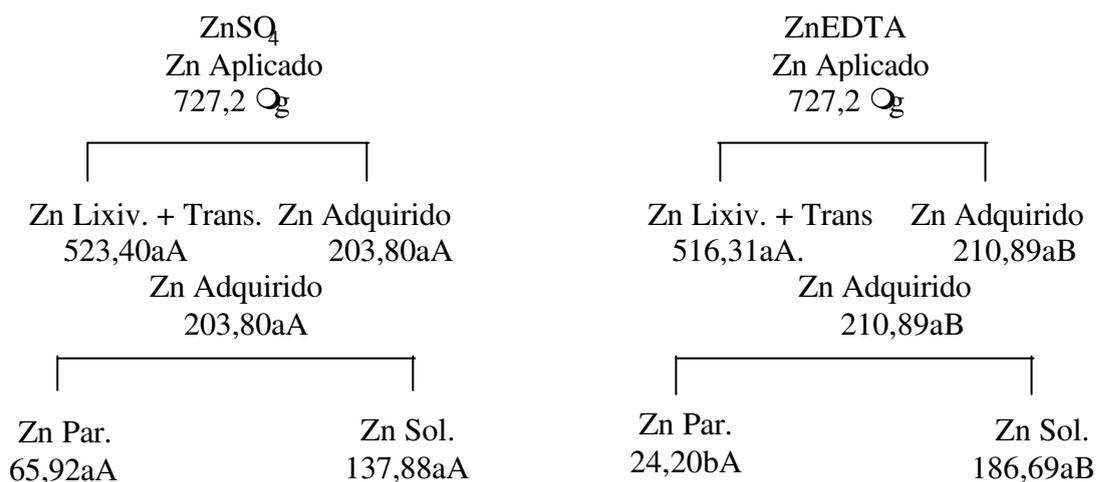
No experimento com cafeeiro, observou-se tendência a maior conteúdo de Zn (μg) na cutícula das folhas, quando se aplicou o Zn na forma de $ZnSO_4$ (Figura 5), sendo essa diferença significativa somente para o conteúdo de Zn na cutícula de plantas bem nutridas. Entretanto, quando se transformam os valores de conteúdo na parede celular e na fração solúvel em porcentagem do adquirido (Figura 3), tanto as plantas crescidas na presença quanto na ausência de Zn na solução nutritiva apresentaram valores de Zn na parede celular de folhas pinceladas com $ZnSO_4$ significativamente superiores aos de folhas pinceladas com $ZnEDTA$. O inverso ocorreu para a fração solúvel, na qual a porcentagem de Zn é significativamente menor nas folhas pinceladas com $ZnSO_4$ que nas pinceladas com $ZnEDTA$. Como o relatado para o feijoeiro, o comportamento apresentado pelo $ZnSO_4$ explica-se pela maior retenção do Zn^{++} livre nas cargas negativas existentes na parede celular.

O conteúdo de Zn adquirido pela planta inteira foi bem superior para plantas de feijoeiro que para as de cafeeiro (Figuras 6 e 7). Essa tendência de maior aquisição de Zn por plantas de feijoeiro poderia ser explicada pela grande quantidade de pêlos (tricomas) existentes nas folhas dessa espécie, os quais são áreas de maior absorção (ROSOLÉM, 1992). Já a cutícula mais cerosa e com poucos tricomas das folhas de cafeeiro tornaria mais difícil a penetração da solução hidrofílica de Zn, tornando mais fácil a perda do elemento por lixiviação, o que é constatado pela maior quantidade lixiviada apresentada por folhas de cafeeiro, pois a superfície é mais hidrofóbica (Figura 3).

Zn+



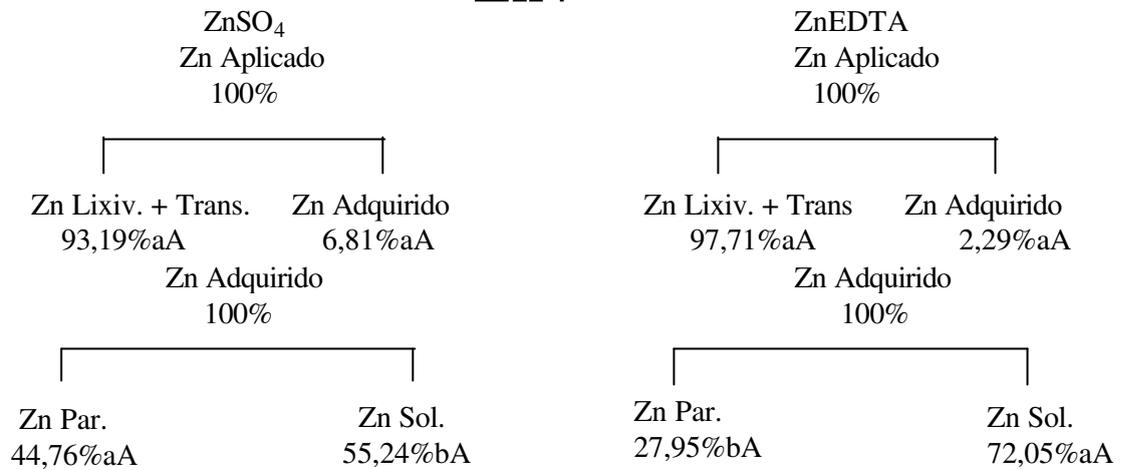
Zn-



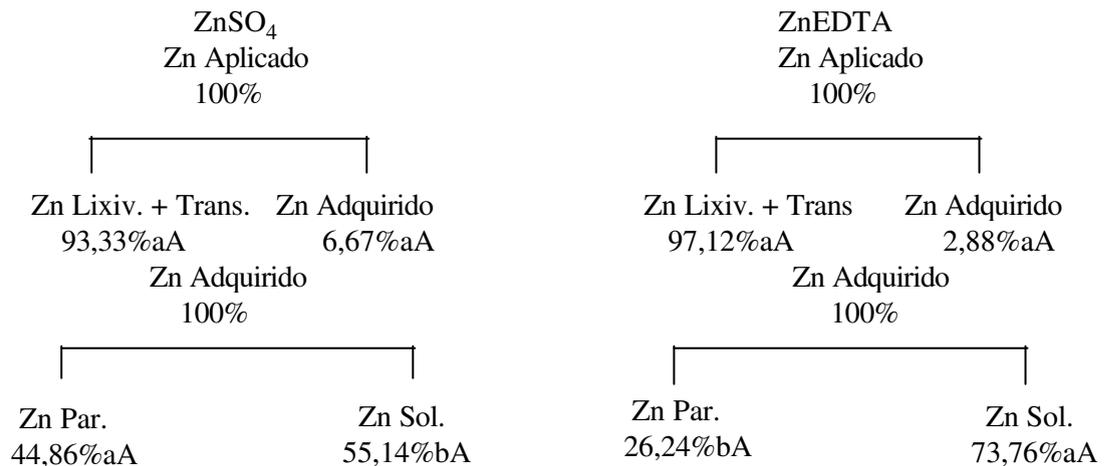
- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 2 - Conteúdos (µg) de Zn translocado (Trans.) e lixiviado (Lixiv.), adquirido, retidos na parede celular (Par.) e na fração solúvel (Sol.) de folhas medianas de feijoeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.

Zn+



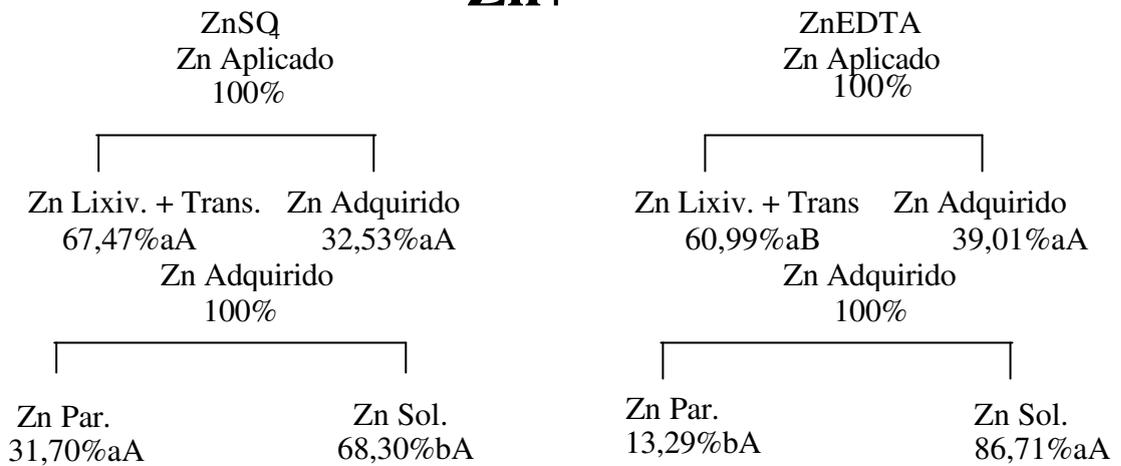
Zn-



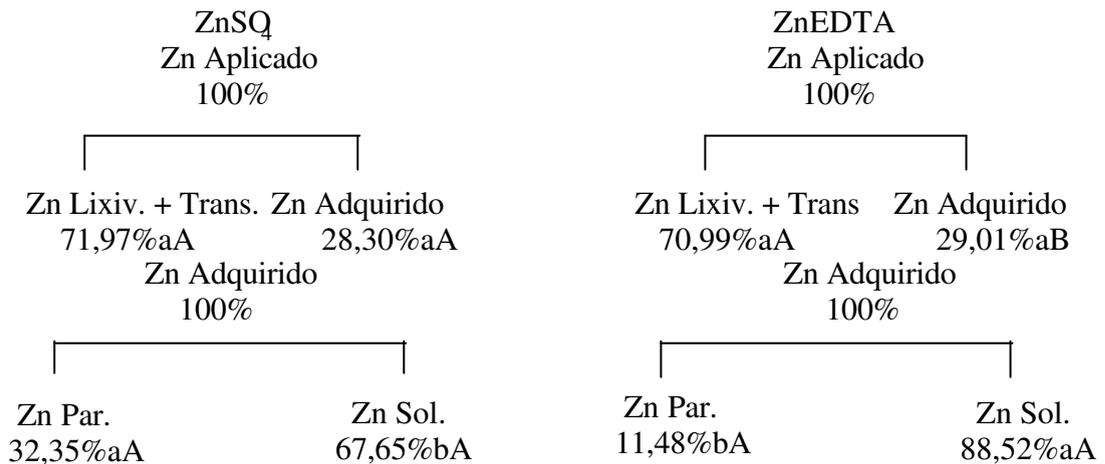
- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 3 - Conteúdos relativo de Zn translocado (Trans.) e lixiviado (Lixiv.), adquirido, retidos na parede celular (Par.) e na fração solúvel (Sol.) de folhas medianas de cafeeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.

Zn+



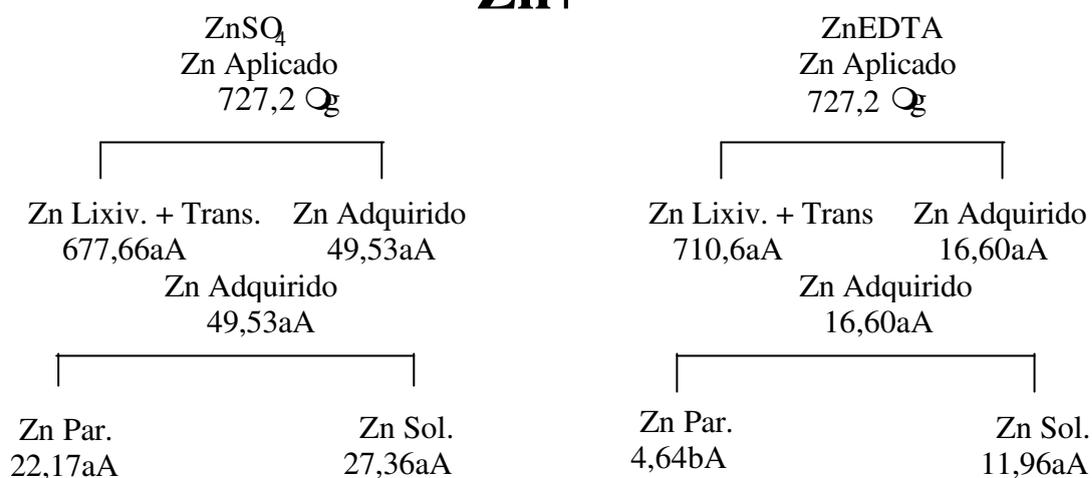
Zn-



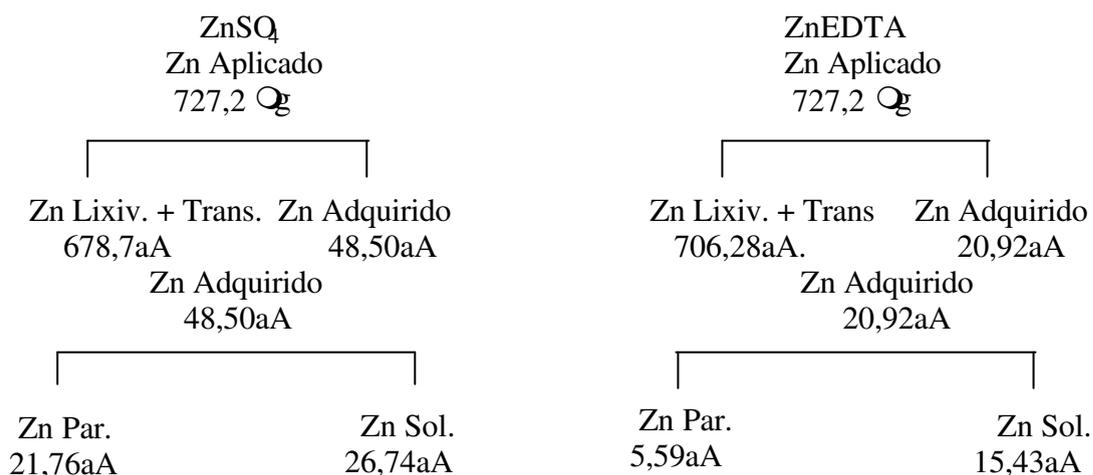
- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4 - Conteúdos relativo de Zn translocado (Trans.) e lixiviado (Lixiv.), adquirido, retidos na parede celular (Par.) e na fração solúvel (Sol.) de folhas medianas de feijoeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.

Zn+



Zn-



- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 5 - Conteúdos (µg) de Zn translocado (Trans.) e lixiviado (Lixiv.), adquirido, retido na parede celular (Par.) e na fração solúvel (Sol.) de folhas medianas de cafeeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.

O estado nutricional das plantas afetou significativamente a aquisição e o transporte do Zn aplicado por via foliar em plantas de feijoeiro. Tanto nas plantas pinceladas com ZnSO₄, quanto nas pinceladas com ZnEDTA, o Zn adquirido por

plantas bem nutridas foi significativamente superior ao adquirido por plantas mal-nutridas (Figuras 6 e 8). Essas observações condizem com os relatos de RICEMAN e JONES (1958) e McGRATH e RONSON (1984c), os quais observaram maior translocação de Zn da folhas em condição de boa nutrição em Zn em relação a plantas mal-nutridas. No experimento com cafeeiro, o estado nutricional da planta não apresentou efeito significativo sobre a aquisição e transporte de Zn em qualquer uma das formas de pincelamento (Figuras 7 e 9). As plantas de café, em condição de nutrição adequada em Zn, apresentaram os teores de Zn 9,31; 10,24 e 14,36 $\mu\text{g/g}$ nas folhas FI2, FM e FS2 respectivamente, enquanto em condição de inadequada nutrição de Zn os valores foram: 6,31; 7,28 e 5,87 $\mu\text{g/g}$, respectivamente.

Quando se comparam as soluções de pincelamento, em condição de boa nutrição, tanto plantas de cafeeiro e de feijoeiro não apresentaram diferenças significativas quanto ao Zn translocado (Figuras 6, 7, 8 e 9). Em condição de má nutrição, o percentual de translocação do Zn adquirido tanto para cafeeiro quanto para feijoeiro (Figuras 8 e 9) foi menor com o uso de ZnSO_4 que com o uso de ZnEDTA . Nesse sentido, RAMANI e KANNAN (1985), FERRANDON e CHAMEL (1988) observaram maior mobilidade do ZnEDTA em relação ao ZnSO_4 , sendo que o aspecto nutricional não foi abordado por esses autores.

Mais de 69% do Zn translocado alojou-se na parte aérea em feijoeiro (Figura 8), independentemente do estado nutricional e da solução de pincelamento. Já, em café, houve também tendência de haver maior acúmulo de Zn na parte aérea (Figura 9), mas não em percentual tão elevado quanto em feijão.

Tanto o pincelamento com ZnSO_4 e ZnEDTA quanto o estado nutricional das plantas não afetaram significativamente a distribuição do Zn adquirido para parte aérea e raízes de cafeeiro. Já para feijoeiro, o seu estado nutricional afetou a partição do Zn adquirido para parte aérea e raízes (Figura 6). Em boa condição de nutrição, em Zn, houve maior acúmulo de Zn, na parte aérea e raiz, tanto para o pincelamento com ZnSO_4 quanto para o pincelamento com ZnEDTA , sendo um reflexo da maior translocação em condição de boa nutrição.

Para plantas adequadamente nutridas, quando se comparam as duas formas de pincelamento, não houve diferença significativa nos acúmulos de Zn, em raízes e parte aérea, tanto em conteúdo (μg) quanto em termos percentuais. Já em condição de má nutrição, houve maior acúmulo de Zn, tanto na parte aérea quanto na raiz, quando as plantas de feijoeiro foram pinceladas com ZnEDTA (Figura 6).

Seguindo a tendência observada para o conteúdo de Zn na parte aérea, o conteúdo de Zn nas várias partes em que foi dividida a parte aérea de feijoeiro apresentaram respostas significativas ao estado nutricional da planta (Figura 6). Somente a folha inferior basal (FI2) apresentou tendência inversa, na qual as plantas de feijoeiro crescidas na ausência de Zn apresentaram maior acúmulo percentual de Zn na folha inferior basal, tanto para o pincelamento com ZnSO₄ quanto para o pincelamento com ZnEDTA.

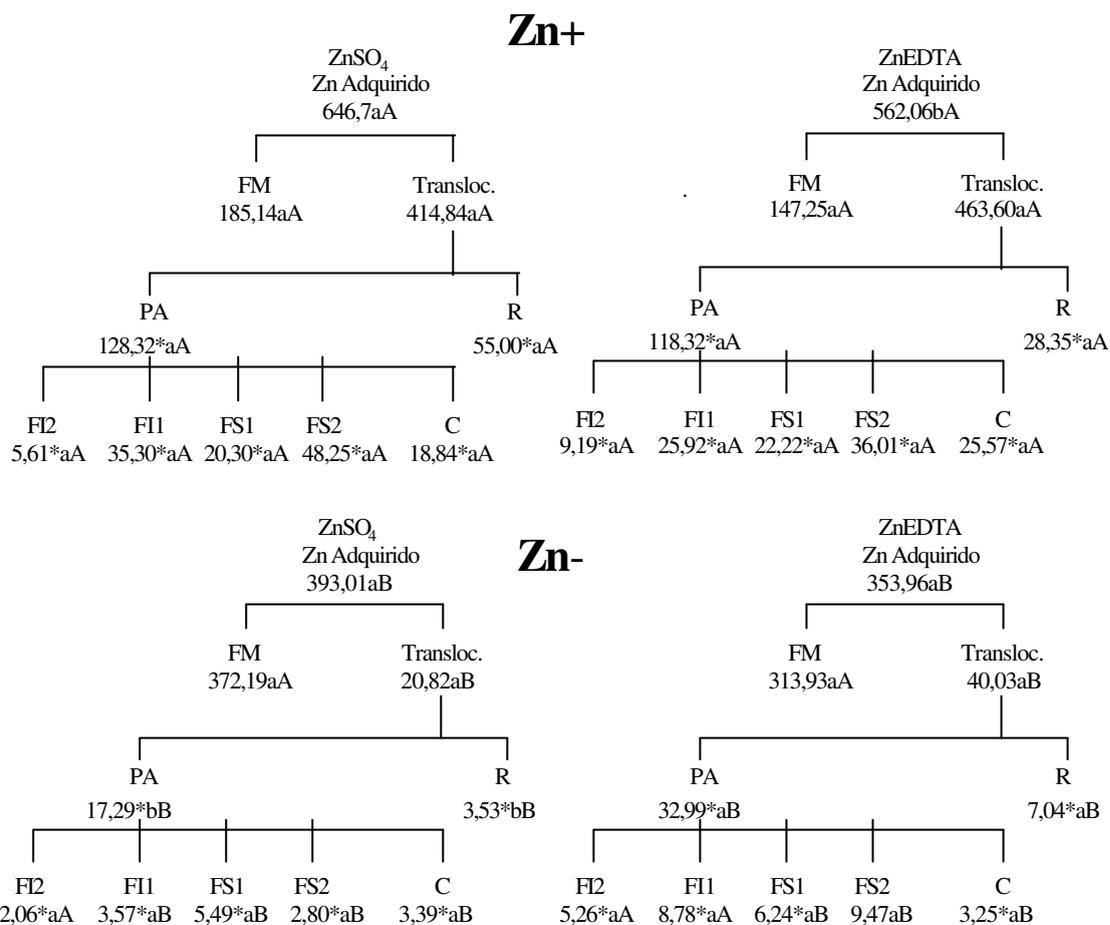
Para todos os tratamentos, houve maior acúmulo de Zn na porção superior que na inferior do feijoeiro, tanto em termos percentuais quanto em termos quantitativos, sendo que o maior acúmulo ocorreu na folha superior 2, na maioria dos tratamentos, a qual corresponde ao ápice da planta (Figuras 6 e 8). Essa observação pode estar relacionada com o fato de ser essa região um forte dreno para o nutriente. Uma tendência de maior acúmulo de Zn ocorreu também nas folhas superiores do cafeeiro, na maioria dos tratamentos (Figuras 7 e 9). Esses relatos condizem com as observações de LONGNECKER e ROBSON (1993), os quais relataram que tecidos jovens tendem a acumular, preferencialmente, mais Zn que tecidos maduros, pois representam regiões metabolicamente mais ativas com grande demanda por nutrientes.

Dentre as partes da parte aérea do cafeeiro, o caule acumulou mais Zn, tanto em termos percentuais quanto em termos quantitativos (Figuras 7 e 9), demonstrando ser um local de acúmulo de Zn. PEARSON e RENGEL (1994) também observaram acúmulo de Zn no caule de plantas de trigo. Complementando, PEARSON e RENGEL (1995a), utilizando ⁶⁵Zn, também em trigo, observaram que grande proporção do ⁶⁵Zn acumulou-se na parte aérea, sendo a maior parte encontrada no caule.

Em termos percentuais do conteúdo de Zn da parte aérea, o cafeeiro acumulou mais Zn no caule, em todos os tratamentos, do que o feijoeiro (Figuras 8 e 9). McGRATH e ROBSON (1984b) relataram que a planta lenhosa *Pinus radiata* acumulou Zn no caule quando se adicionou ^{65}Zn na solução de crescimento. Relataram ainda que o acúmulo de Zn foi maior em plantas crescidas com baixo suprimento de Zn que aquelas crescidas com níveis adequados de Zn. Essa observação condiz com o resultado observado no experimento com cafeeiro, onde plantas crescidas na ausência de Zn e pinceladas com ZnSO_4 acumularam, percentualmente, mais Zn no caule que plantas crescidas na presença de Zn e pinceladas com ZnSO_4 (Figura 9).

Quando se compara o pincelamento com ZnSO_4 com o pincelamento com ZnEDTA, em cafeeiro crescido na ausência de Zn, observa-se que ocorreu acúmulo significativamente maior de Zn no caule, em termos percentuais, com o pincelamento com ZnSO_4 , que com ZnEDTA (Figura 9), indicando que o ZnEDTA foi mais móvel no caule que o ZnSO_4 . Similarmente, McGRATH e ROBSON (1984c), ao compararem a absorção de ZnSO_4 com ZnEDTA, verificaram que o Zn aplicado na forma de ZnSO_4 moveu-se menos rapidamente através do caule de *Pinus radiata*, ocasionando um acúmulo de ^{65}Zn , e atribuem isso à maior retenção do Zn^{++} , liberado do sulfato, pelas cargas existentes nos vasos condutores. Nesse sentido, PEARSON e RENGEL (1994) relataram que o acúmulo de Zn no caule pode ser uma forma de reserva de Zn na planta, podendo ser remobilizado em condição de demanda no elemento.

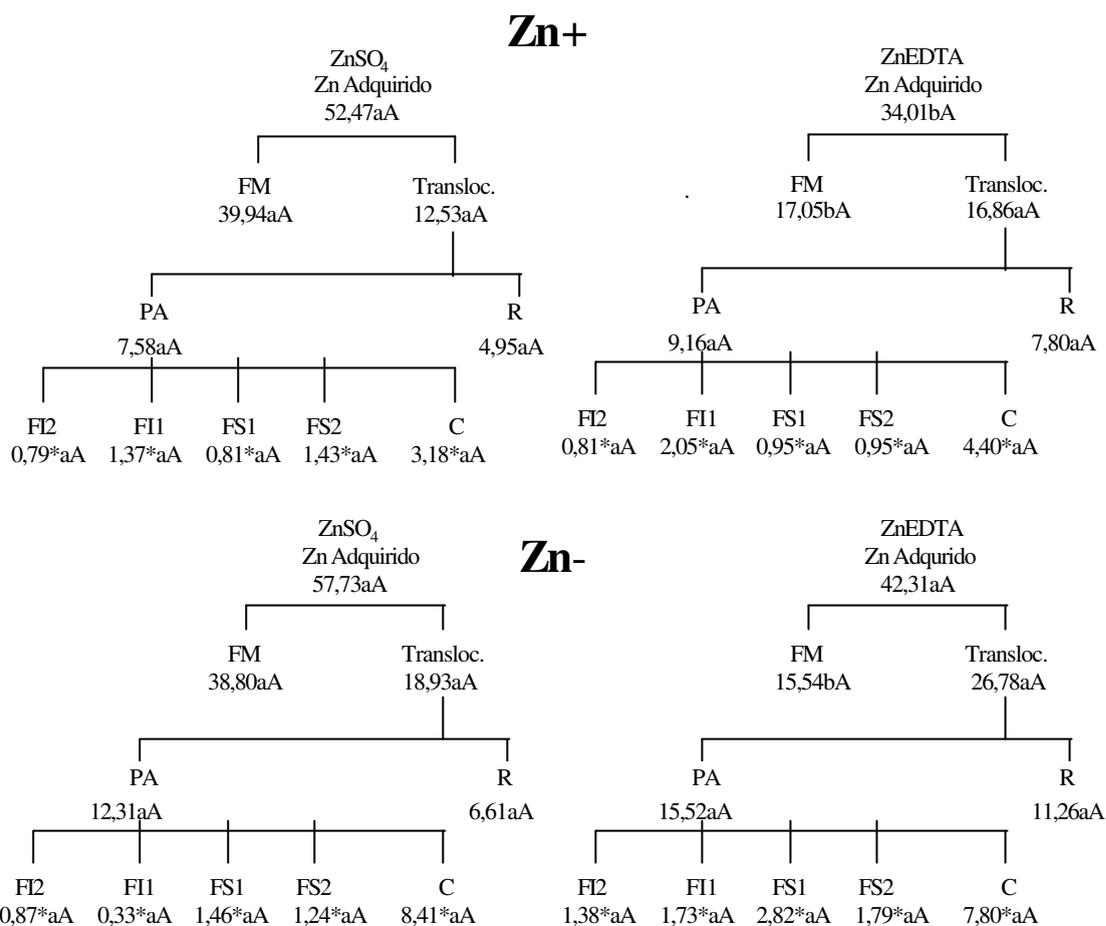
O feijoeiro acumulou mais Zn no caule em condição de boa nutrição em qualquer uma das formas de pincelamento (Figura 6). Esse fato demonstrou, muito mais, um efeito do estado nutricional que um acúmulo específico como no caso do cafeeiro.



*Dados transformados em $\sqrt{(X+1)}$

- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

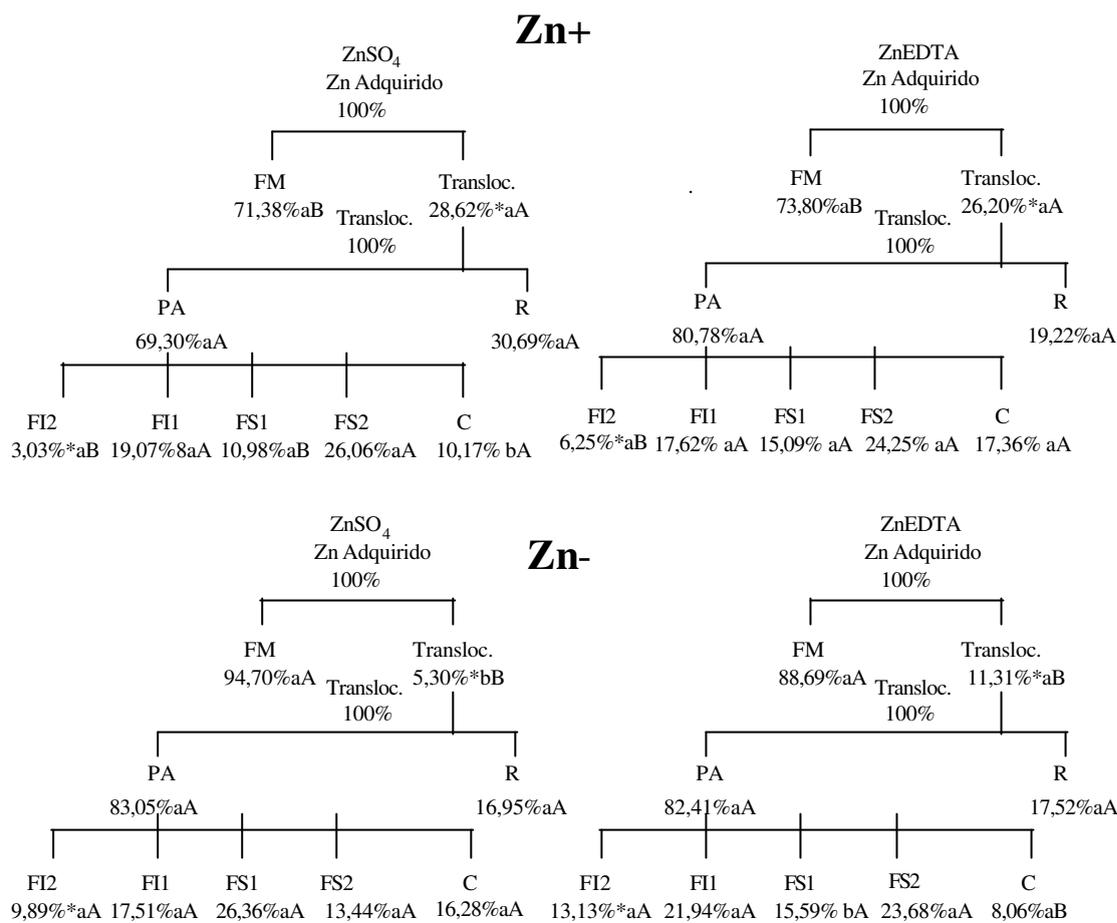
Figura 6 - Conteúdos (μg) de Zn adquiridos na folha média (FM), translocados (Transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de feijoeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.



*Dados transformados em $\sqrt{(X+1)}$

- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

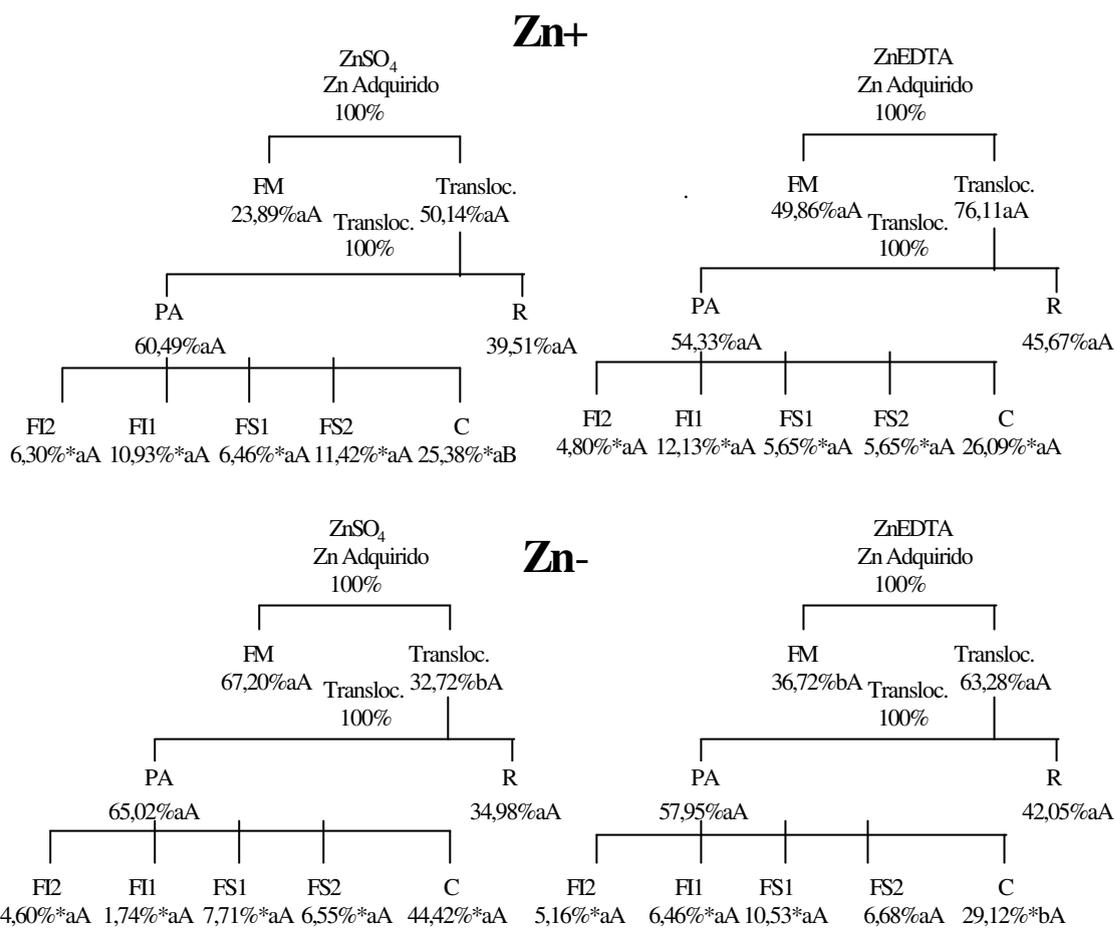
Figura 7 - Conteúdos (μg) de Zn adquiridos na folha média (FM), translocados (Transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de cafeeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.



*Dados transformados em Log (X+1)

- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 8 - Conteúdos relativos de Zn adquiridos na folha média (FM), translocados (Transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de feijoeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.



*Dados transformados em $\sqrt{(X+1)}$

- Letras maiúsculas expressam comparação entre médias na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.
- Letras minúsculas expressam comparação entre médias na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 9 - Conteúdos relativos de Zn adquiridos na folha média (FM), translocados (Transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de cafeeiro, adequadamente nutridas (Zn+) e mal-nutridas (Zn-), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA.

4. CONCLUSÕES

Em ambas as espécies, o ZnSO_4 apresentou maior adsorção à cutícula da folha que o ZnEDTA , demonstrando ser a retenção cuticular de Zn uma importante barreira à absorção do elemento, quando se pensa em aplicação foliar com ZnSO_4 .

O estado nutricional da planta apresentou efeito significativo na aquisição de Zn pelo feijoeiro, o que não ocorreu com plantas de cafeeiro, demonstrando ser o estado nutricional uma característica importante no melhor aproveitamento do Zn aplicado nas folhas do feijoeiro.

Tanto a folha pincelada como a planta inteira de feijoeiro adquiriram maior quantidade de Zn que as de cafeeiro.

O feijoeiro apresentou maior translocação de Zn em condição de adequado fornecimento do nutriente que em condição de nutrição inadequada, indicando ser o aspecto nutricional fator importante na maior ou menor translocação de Zn em feijoeiro, o que não ocorreu com o cafeeiro.

Em condições de ausência de fornecimento de Zn, via radicular, tanto para cafeeiro quanto para feijoeiro, a utilização de ZnEDTA demonstrou ser significativamente mais eficiente em termos de translocação do elemento para folha da folha que o recebeu.

Quando foi aplicado ZnSO_4 às folhas de cafeeiro, crescidas em solução nutritiva não contendo Zn, houve acúmulo de Zn no caule, indicando que há uma grande afinidade do Zn^{++} do ZnSO_4 com as cargas livres existentes nos vasos condutores.

CAPÍTULO 2

TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn, APLICADO VIA RAÍZES EM CAFEIEIRO E FEIJOEIRO

1. INTRODUÇÃO

Deficiência de Zn ocorre amplamente em solos brasileiros e de outras partes do mundo. Quando crescidas nesses solos, culturas como o cafeeiro e o feijoeiro podem tornar-se deficientes em Zn, provocando redução no crescimento. Mesmo a deficiência de Zn, ocorrendo em estádios iniciais de crescimento da planta, pode resultar em perda substancial na produção final. Pesquisas sobre transporte e distribuição de Zn dentro da planta, as quais podem melhorar a eficiência da aplicação do nutriente, têm recebido pouca atenção (PEARSON e RENGEL, 1994)

O Zn é elemento parcialmente móvel dentro da planta (PEASLEE et al., 1981). Entretanto, FÁVARO (1992), estudando a aplicação foliar de Zn em cafeeiro, observou baixíssima mobilidade ou mesmo imobilidade do Zn quando aplicado em folha madura. Já em experimentos com trigo, utilizando raízes subdivididas, LONERAGAN et al. (1987) e MASH et al. (1985) observaram certa mobilidade de Zn. Nesse mesmo sentido, PEARSON e RENGEL (1995a)

observaram que plantas de trigo com 14 e 42 dias de idade tiveram cerca de 25% do total do ^{65}Zn transportado, distribuído para a raiz não- exposta ao Zn marcado, atribuindo esse fato à criação de uma demanda por Zn. Relataram ainda que o ^{65}Zn foi translocado das raízes para a parte aérea via transpiração, mas o transporte para as outras partes do sistema radicular que não receberam ^{65}Zn pode ter requerido movimentação dentro do floema. Observaram também que as plantas pré-crescidas em condição de deficiência alocaram menos Zn para raízes não-expostas ao ^{65}Zn e mais para o caule, em termos percentuais. Armazenamento temporário de Zn no caule é relatado por PEARSON e RENGEL (1994) como podendo ser um evento importante para íons, os quais parecem ser relativamente imóveis dentro do floema, já que possibilitaria a remobilização via xilema. Os autores também observaram que nenhum Zn foi retirado do caule em plantas de trigo nos primeiros 14 dias do desenvolvimento do grão, sendo quantidades substanciais retiradas do caule após esse período, à medida que a maturação do grão se completava.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a mobilidade do Zn no xilema e no floema, bem como a compartimentalização do elemento em cafeeiro e feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho) e de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ouro Negro) foram utilizadas neste trabalho em hidroponia estática com arejamento constante e pH das soluções mantido em $5,0 \pm 0,5$. Para o primeiro ensaio, instalado em 04.11.94, mudas de cafeeiros no estágio palito de fósforo foram obtidas por semeadura em germinador por um período de 30 dias. Após esse período, foram selecionadas e transferidas para bandejas de 26L de capacidade, contendo solução nutritiva aerada. A solução nutritiva utilizada foi a de CLARK (1975), contendo a seguinte composição básica: Ca^{++} 2,565 mmol/L; NO_3^- 7,26 mmol/L; K^+ 1,8 mmol/L; NH_4^+ 0,9 mmol/L; Mg^{++} 0,7mmol/L; SO_4^{--} 0,603 mmol/L; $\text{H}_2\text{PO}_4^{--}$ 0,069 mmol/L; Mn 7 $\mu\text{mol/L}$; Zn 2 $\mu\text{mol/L}$; Mo 0,086 $\mu\text{mol/L}$; Cu 0,5 $\mu\text{mol/L}$; Fe 38 $\mu\text{mol/L}$. Todas as soluções-estoque de macronutrientes foram submetidas à técnica de purificação para a remoção de Zn, com o reagente pirrolidina ditiocarbamato de amônio, usando-se como solvente o clorofórmio (FONTES, 1986). Dentre os micronutrientes, somente o cloreto férrico foi purificado, utilizando-se a resina Dower 1X-8 (FONTES, 1986).

As mudas de cafeeiro, após um mês de condução nas soluções das bandejas, tiveram sua raiz principal podada a 1 cm do coleto, a fim de induzir a sua bifurcação. Durante o primeiro mês, a solução nutritiva utilizada continha Zn

na concentração de $1\mu\text{mol/L}$, sendo, posteriormente, substituída por solução nutritiva sem Zn. Após três meses nas soluções das bandejas, as mudas de cafeeiro foram transferidas para vasos geminados com 3L de capacidade cada, sendo o sistema radicular dividido nos dois recipientes (Figura 1). Em um dos recipientes geminados foi sempre adicionado solução sem Zn, e nos outros foram aplicadas doses crescentes do elemento: $0\mu\text{mol/L}$; $0,5\mu\text{mol/L}$; $1,0\mu\text{mol/L}$; $2,0\mu\text{mol/L}$; $3,0\mu\text{mol/L}$; $4,0\mu\text{mol/L}$, as quais constituíram os tratamentos. O número de repetições utilizadas foi quatro, num delineamento em blocos ao acaso. O experimento foi conduzido em vasos geminados durante cinco meses, com as plantas atingindo de 11 a 12 pares de folhas.

O segundo ensaio foi instalado em 29.03.96 e conduzido da mesma forma que o primeiro, com solução nutritiva de mesmas composição e pH. Após a germinação, as plantas de feijão permaneceram 15 dias em bandejas com solução nutritiva sem Zn, sendo então transferidas para os vasos geminados. Os tratamentos foram distribuídos da mesma forma que no ensaio com cafeeiro, com as mesmas doses e número de repetições, sendo o experimento conduzido em vasos geminados durante 20 dias.

Os ensaios com o cafeeiro e o feijoeiro foram avaliados da mesma forma. Foram coletadas folhas da porção inferior (até o 5^o par de folhas ou trifólio), porção superior (folhas restantes), além do caule e raízes (Figura 1). As raízes crescidas na ausência de Zn foram coletadas e analisadas separadamente das raízes que receberam as doses de Zn. As diferentes partes foram lavadas em água deionizada, secas a $70-75^{\circ}\text{C}$ até peso constante, pesadas e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica, sendo então as concentrações de Zn obtidas por espectrofotometria de absorção atômica. Foram realizadas análises de variância e os modelos de regressão foram ajustados com os níveis de significância de 0,1, 1 e 5% de probabilidade.

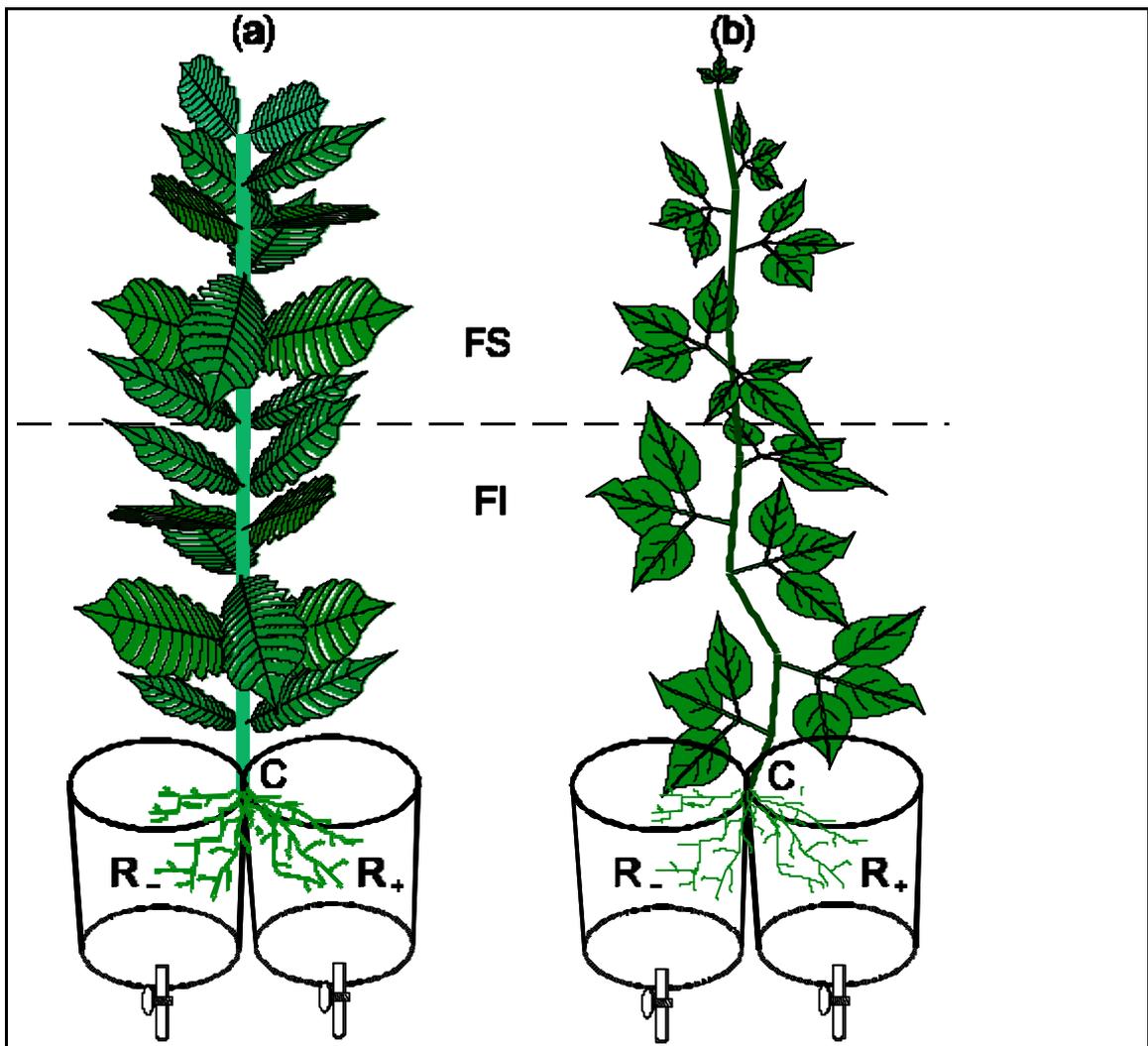


Figura 1 - Representação esquemática dos vasos geminados e da divisão de cafeeiro (a) e de feijoeiro (b) por ocasião da colheita: FI, folha inferior; FS, folha superior; C, caule; R -, raiz sem zinco; R + raiz com níveis de Zn.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de Zn, em todas as partes analisadas do feijoeiro, apresentaram incrementos lineares com o aumento das doses do elemento em solução (Figura 2). As folhas da porção superior das plantas, na dose 0,0 μM de Zn apresentaram maiores concentrações do elemento que as folhas da porção inferior e, nas maiores doses de Zn em solução, as folhas da porção inferior passaram a apresentar maior teor de Zn que as folhas da porção superior, indicando que em plantas crescidas em condição de deficiência de Zn as folhas superiores ou em crescimento são drenos mais fortes, criando demanda maior por Zn que as folhas da porção inferior. Essas observações concordam com as de LONGNECKER e ROBSON (1993), os quais relataram que tecidos em crescimento são drenos preferencias de Zn em relação a tecidos maduros. Para as plantas conduzidas nas doses mais elevadas de Zn, o efeito de dreno dos tecidos em crescimento não se apresentou tão forte. Essa maior concentração em tecidos jovens em condição de deficiência pode ser um indicativo da mobilidade do Zn em plantas de feijão, pois mostra que houve translocação preferencial de Zn dos tecidos maduros para os tecidos em crescimento.

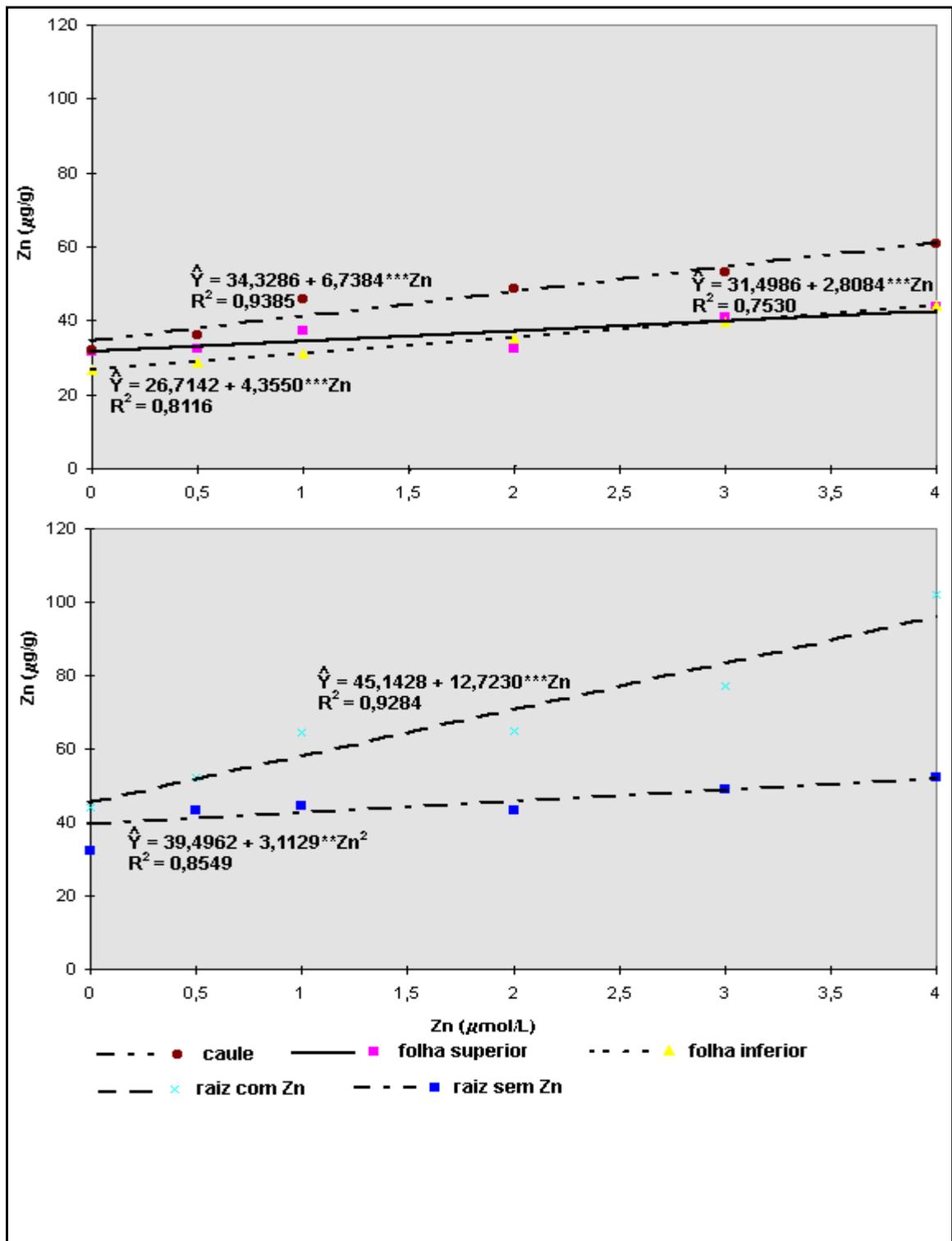


Figura 2 - Teor estimado de Zn (µg/g) em parte aérea e raízes do feijoeiro, em função de doses de Zn na solução nutritiva.

Os teores foliares estimados de Zn com a dose 0,0 μM de Zn na solução foram 31,50 $\mu\text{g/g}$ e 26,71 $\mu\text{g/g}$ (Figura 2) para as folhas da porção superior e inferior do feijoeiro, respectivamente. Os aspectos visuais apresentados, que foram redução do comprimento do caule, clorose e textura coriácea das folhas, indicam que o feijoeiro apresentava-se deficiente nessa dose. O aumento da concentração na parte aérea do feijoeiro, acima desses valores com as maiores doses de Zn, indica que a parte do sistema radicular imerso nos compartimentos com doses crescentes do elemento foi capaz de sustentar o desenvolvimento da planta, pois a concentração das folhas nas doses mais elevadas superou bem esse valor crítico de deficiência.

Todas as partes analisadas do feijoeiro apresentaram resposta linear ao conteúdo de Zn (Figura 3), como observado para os resultados de concentração. Tanto o conteúdo de Zn das folhas superiores quanto das folhas inferiores apresentaram o mesmo comportamento do teor de Zn com o aumento das concentrações das soluções. O caule apresentou concentrações superiores às das folhas, em todas as doses de Zn. Quando se transformam os resultados em conteúdo (Figura 3), o mesmo comportamento linear crescente é observado, mas em todas as doses os valores de conteúdo de Zn no caule são menores que os das folhas, em virtude da menor quantidade de matéria seca apresentada pelo caule (Figura 4). Observando-se a planta como um todo, em todas as doses, o caule apresentou, em termos gerais, a segunda maior concentração de Zn, sendo menor somente que a do sistema radicular que recebeu Zn (Figura 2). Esses resultados se assemelham aos relatos de PEARSON e RENGEL (1994), os quais observaram que o caule de plantas de trigo apresentaram o segundo maior pool de Zn. Nesse sentido, o caule tem sido descrito como uma área temporária para acúmulo de micronutrientes (McGRATH e ROBSON 1984a; PEARSON e RENGEL 1994; PEARSON e RENGEL 1995b).

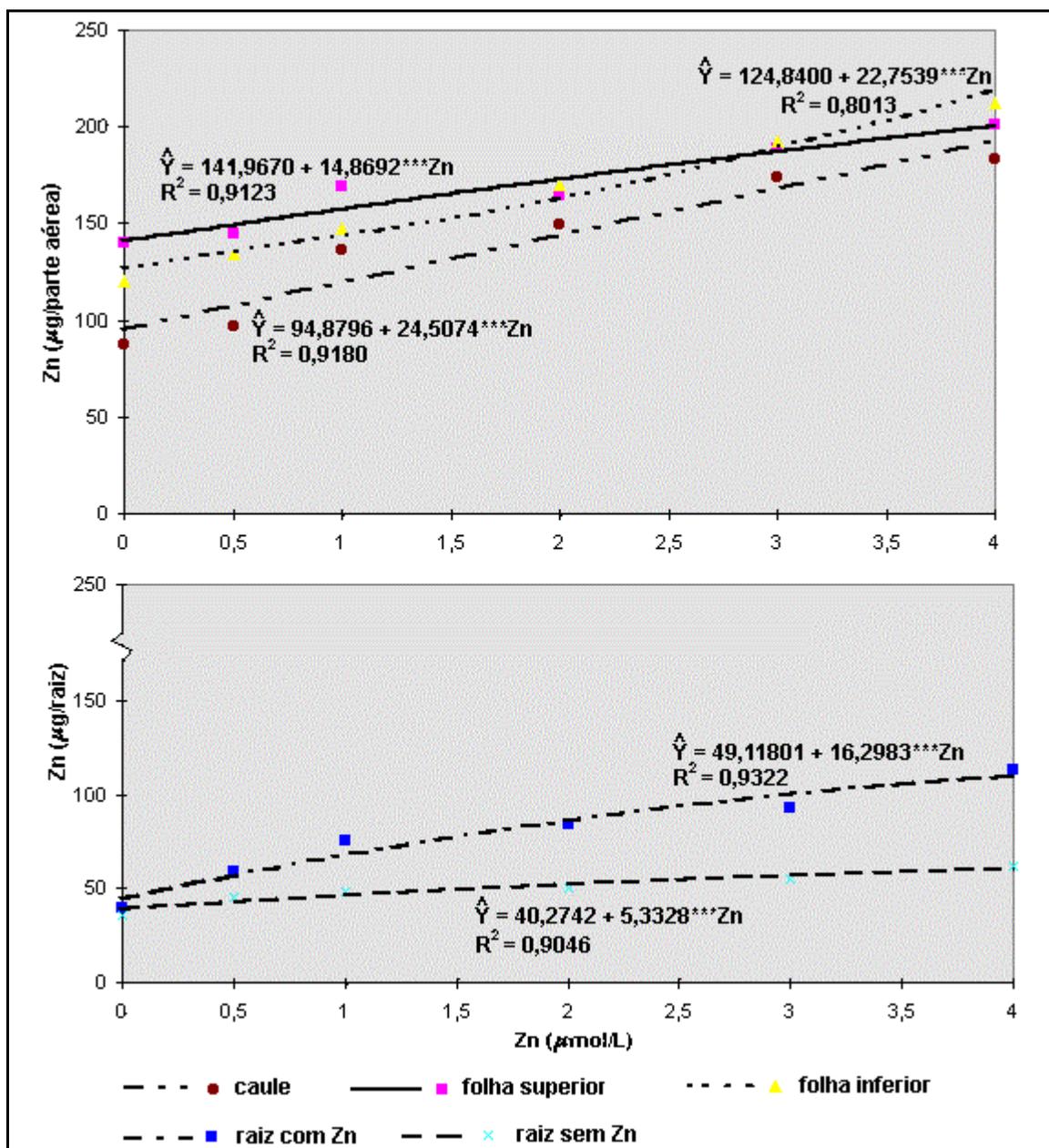


Figura 3 - Conteúdo de Zn (μg) em parte aérea e raízes de feijoeiro, em função de doses de Zn na solução nutritiva.

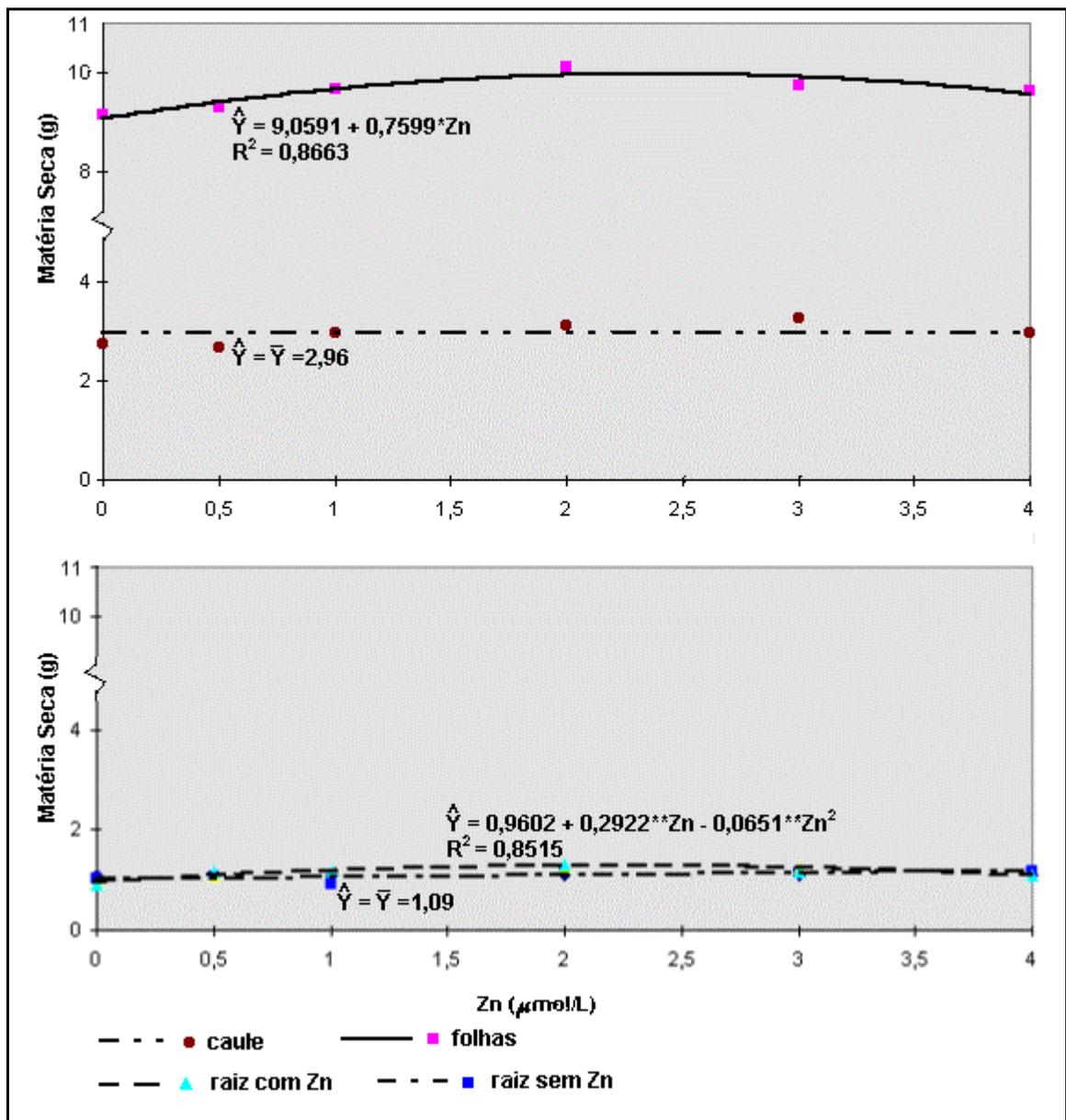


Figura 4 - Matéria seca (g) de parte aérea e de raízes do feijoeiro, em função de doses de Zn na solução nutritiva.

A mesma resposta linear crescente, observada para os teores de Zn nas raízes que receberam as doses de Zn, foi observada para os teores de Zn nas

raízes crescidas na ausência de Zn (Figura 2). No entanto, a resposta linear crescente da concentração observada para as raízes crescidas na ausência de Zn não foi tão pronunciada como a observada para as raízes crescidas na presença do nutriente. Do mesmo modo, quando se observam os resultados de conteúdo de Zn, a resposta linear crescente às doses do elemento foi observada também tanto para a raiz crescida na presença como na ausência de Zn (Figura 3), mas a declividade da reta foi menor para as raízes crescidas na ausência de Zn. A resposta linear crescente observada na concentração de Zn na raiz crescida em meio sem Zn indica que parte do Zn fornecido à raiz crescida na presença do elemento foi translocada para a parte aérea e retranslocada para a raiz crescida em sua ausência. Relatos semelhantes de translocação de Zn do sistema radicular suprido com o elemento, para a outra parte do sistema radicular cultivado em ausência de Zn, caracterizando uma certa mobilidade, foram obtidas por LONERAGAN et al. (1987); MARSH et al. (1985); e PEARSON e RENGEL (1995a). Para que o Zn chegue até o sistema radicular cultivado sem Zn é necessário que ele seja translocado até a parte aérea e posteriormente retranslocado até o sistema radicular. Primeiramente, é necessário seu transporte do simplasma radicular, através da membrana plasmática das células do parênquima do xilema, para o centro dos vasos do xilema, de onde ocorrerá a sua ascensão até a parte aérea, feita provavelmente via transpiração. Posteriormente, torna-se necessária a sua entrada no floema. O Zn seria então retranslocado juntamente com fotoassimilados via fluxo de massa dirigido por um gradiente de pressão hidrostática positiva até a raiz cultivada sem Zn (ROSS, 1995). Nesse sentido, PEARSON e RENGEL (1995a) sugerem que a ascensão de micronutrientes até as folhas de diferentes idades pode ser determinada pela taxa relativa de transpiração das folhas, sendo que o transporte das folhas para o sistema radicular pode requerer a entrada no floema.

As doses de Zn promoveram resposta quadrática para a produção de matéria seca de folhas e das raízes do feijoeiro (Figura 4). Para matéria seca de caule e raízes cultivadas sem Zn não houve ajuste de equação, indicando que os níveis de Zn não afetaram a matéria seca dessas partes do feijoeiro. A matéria

seca de folhas e das raízes que receberam as doses de Zn apresentaram produções máximas de 9,97 e 1,29 g nas concentrações de 2,4 $\mu\text{mol/L}$ e 2,2 $\mu\text{mol/L}$ de Zn na solução nutritiva, respectivamente. A partir desses pontos, o aumento da concentração de Zn da solução nutritiva restringiu a produção de matéria seca da planta indicando provavelmente um efeito tóxico. No sistema radicular crescido na ausência de Zn, a mobilização ocorrida, aparentemente, não foi capaz de promover alterações na produção de matéria seca.

No experimento com cafeeiro, os resultados de teores de Zn de todas as partes da planta analisadas (Figura 5) foram diferentes dos observados no experimento com feijoeiro (Figura 2). Somente às concentrações de Zn do sistema radicular que recebeu as doses de Zn foi possível ajustar-se equação de regressão, sendo que as concentrações das demais partes das planta não responderam aos níveis de Zn aplicados. O sistema radicular crescido na ausência de Zn apresentou teor médio estimado de 23,55 $\mu\text{g/g}$, indicando que o Zn não se retranslocou da parte aérea para o sistema radicular. O Zn pode ter ascendido via transpiração até a parte aérea via xilema como relatado por PEARSON e RENGEL (1995a), mas a sua transferência para o floema, como observado para o feijoeiro, parece não ter ocorrido, demonstrando que o Zn apresentou retranslocação limitada ou até mesmo nula para essa espécie. WEBB e LONERAGAN (1990) relataram que o Zn se moveu em plantas de trigo das folhas para os grãos em desenvolvimento, mas não das folhas para as raízes, quando aplicado via foliar.

A ausência de resposta das concentrações de Zn das diferentes partes das plantas, em níveis crescentes de Zn, indicaram que, apesar do aumento da concentração da solução nutritiva, a movimentação de Zn para a parte aérea pode ter-se mantido constante, independentemente da concentração da solução nutritiva. O teor médio estimado de Zn das folhas superiores e inferiores foram maiores que o valor crítico de deficiência de Zn de 10 $\mu\text{g/g}$ para café (NEVES 1994), indicando que, mesmo na dose 0,0 $\mu\text{mol/LM}$ de Zn, as reservas de Zn da planta foram capazes de sustentar a concentração na parte aérea acima do valor crítico de deficiência nas folhas. O valor médio estimado de matéria seca de

folhas (Figura 6) reforça essa idéia, pois em qualquer dos níveis utilizados a matéria seca de folhas manteve-se constante.

O teor médio estimado de Zn na folha superior foi maior que o da folha inferior (Figura 5). Esse fato pode indicar o efeito de dreno que a região superior em crescimento, metabolicamente mais ativa, exerce (LONGNECKER e ROBSON, 1993).

Como observado para o feijoeiro, mas em maior proporção, o teor médio estimado de Zn no caule do cafeeiro foi bem superior aos teores observados para as suas folhas (Figura 5). Semelhantemente, PEARSON e RENGEL (1994) observaram, em plantas de trigo, armazenamento temporário de Zn no caule, concluindo que esse fato pode ser um evento importante para íons, os quais parecem ser relativamente imóveis no floema, podendo a sua remobilização, quando necessária, ser feita via xilema. No caso do cafeeiro, no qual o Zn aparentou ser pouco móvel no floema, essa concentração de Zn no caule pode participar no suprimento de Zn em períodos de deficiência do elemento, apesar de a reserva ser pequena, pois a matéria seca do caule é baixa (Figura 6).

As matérias secas (Figura 6) de todas as partes da planta (caule, folhas raízes com e sem Zn) mantiveram-se constantes, independentemente do aumento das doses de Zn, não havendo ajuste de equação para essas características. Os níveis de Zn aplicados não afetaram de maneira significativa o crescimento da planta. A ausência de resposta foi constatada também para produção de matéria seca por plantas de trigo crescidas em condição de deficiência e suficiência de Zn (PEARSON e RENGEL 1994).

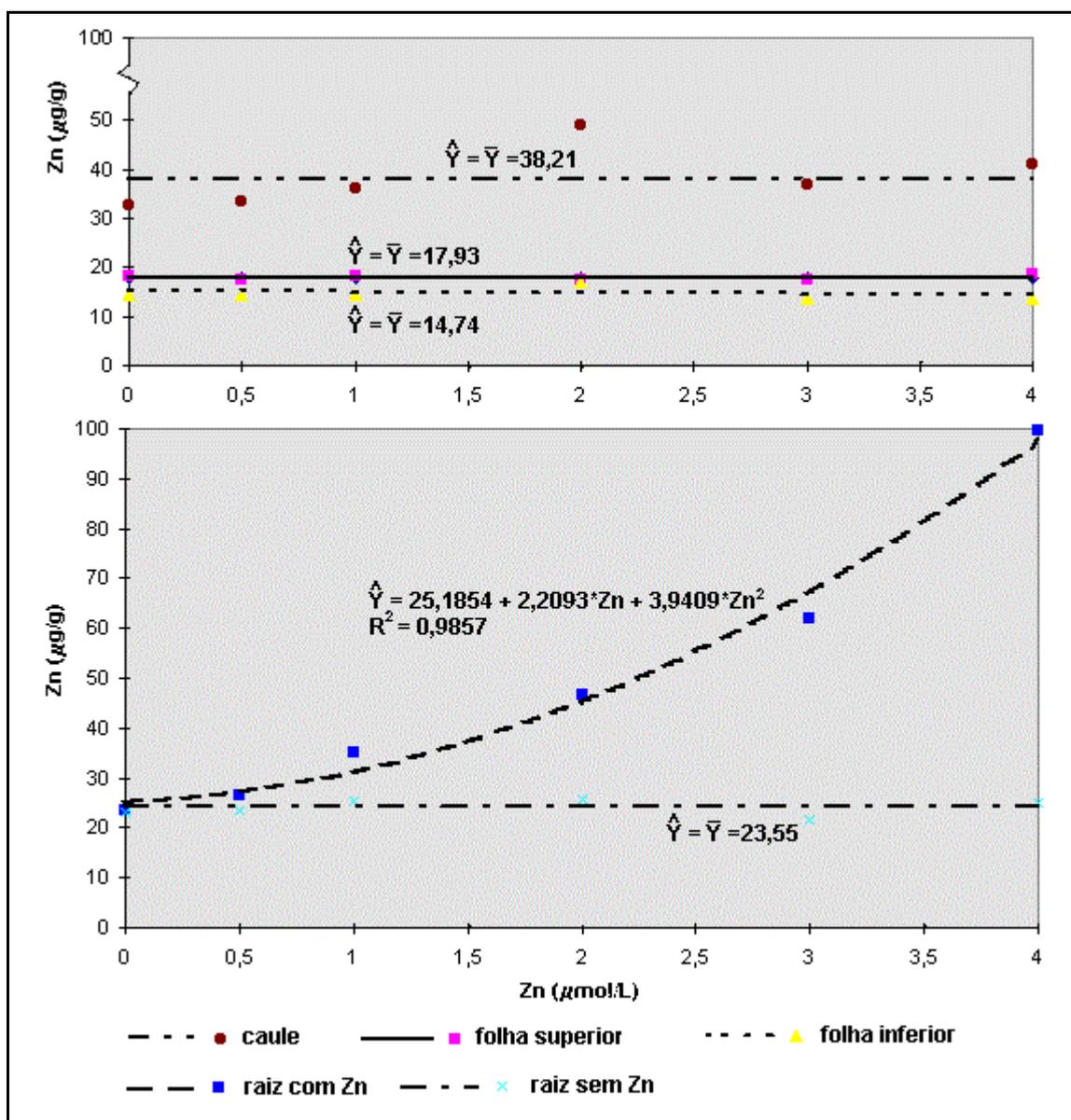


Figura 5 - Teor de Zn ($\mu\text{g/g}$) de parte aérea de raízes de cafeeiro em função de doses de Zn na solução nutritiva.

A quantidade de matéria seca média estimada da raiz que recebeu os níveis de Zn foi ligeiramente menor que a matéria seca média estimada da raiz que cresceu na solução sem Zn (Figura 6). Essa pequena diferença pode já ser reflexo de um moderado efeito tóxico das doses de Zn aplicadas.

Os resultados de conteúdo de Zn nas raízes (Figura 7) seguiram a mesma tendência dos observados para as concentrações (Figura 5), não havendo ajuste de equação para conteúdo de Zn da porção das raízes que não receberam os níveis de Zn, o que demonstra que provavelmente não ocorreu retranslocação de Zn da parte aérea para o sistema radicular. O conteúdo de Zn, da parte das raízes que receberam as doses de Zn, apresentou resposta quadrática, com valores de conteúdo de Zn na dose de 4,0 $\mu\text{mol/L}$ acima de 200 μg . Para a parte aérea da planta, tanto o conteúdo de folhas inferiores como o do caule não se ajustaram equações, à semelhança do observado para o teor nessas partes. No entanto, o conteúdo médio estimado para folhas inferiores foi bem menor que o do caule, refletindo o maior valor médio estimado do teor de Zn do caule, pois os resultados de matéria seca de ambos foram semelhantes. O conteúdo de Zn de folhas superiores apresentou resposta quadrática, mas com pequena variação. Esses resultados de conteúdo somam-se aos resultados de teor de Zn na planta, os quais indicaram que pouca mobilização de Zn ocorreu nas plantas de cafeeiro com a elevação dos níveis de Zn, e que as doses de Zn aplicadas ao sistema radicular ficaram possivelmente restritas, na sua grande maioria, à porção que recebeu as doses de Zn.

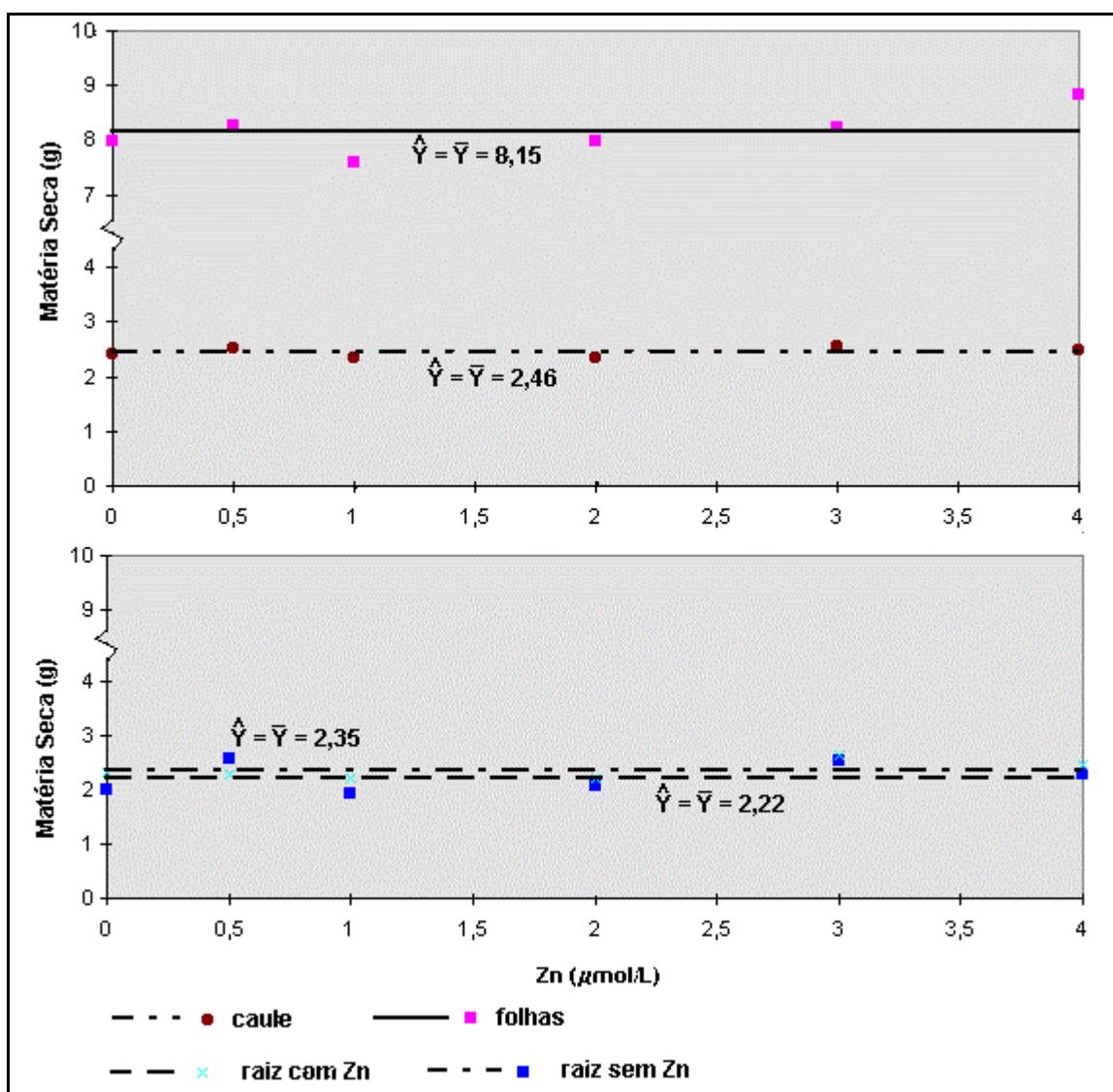


Figura 6 - Matéria seca (g) de parte aérea e de raízes de cafeeiro, em função de doses de Zn na solução nutritiva.

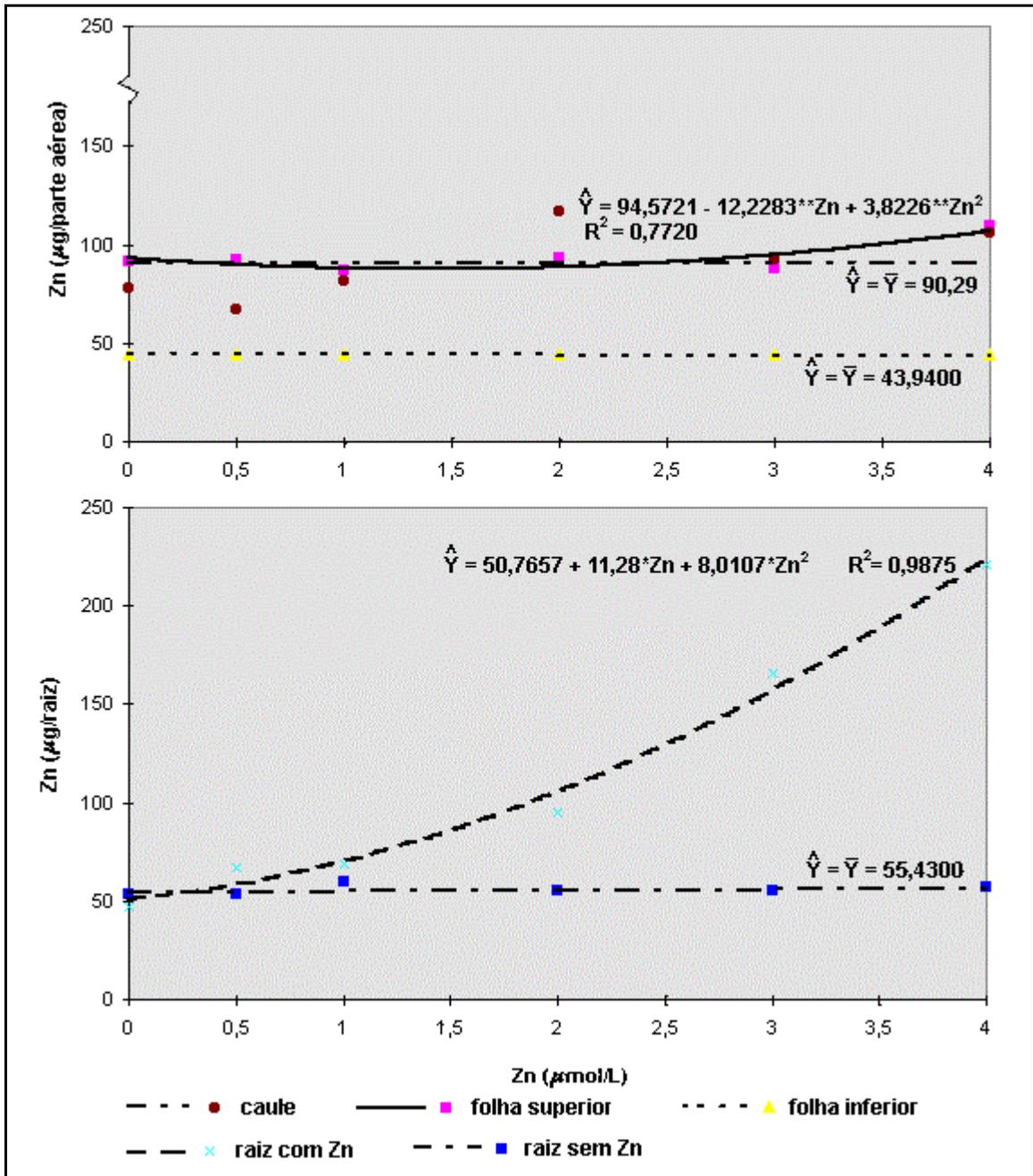


Figura 7 - Conteúdo (μg) em parte aérea e raízes de cafeeiro em função de doses de Zn na solução nutritiva.

4. CONCLUSÕES

O caule apresentou-se como local de armazenamento de Zn, tanto em cafeeiro como em feijoeiro, mesmo que temporário, e não somente local do transporte de nutriente.

O Zn apresentou mobilidade no floema do feijoeiro, sendo, nesse caso, retranslocado da parte aérea para o sistema radicular. Já as plantas de cafeeiro apresentaram mínima mobilidade ou mesmo imobilidade de Zn no floema.

As plantas de feijão mostraram-se sensíveis às doses de Zn aplicadas, enquanto que as plantas de cafeeiro apresentaram mínima alteração no que diz respeito à matéria seca, conteúdo e teor de Zn na parte aérea. Essas diferenças, possivelmente, podem ser explicadas, em parte, pelo crescimento lento do cafeeiro.

2. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a translocação e a compartimentalização de Zn, aplicado em formas de ZnSO₄ e ZnEDTA, por via foliar e doses de Zn, aplicados via radicular em cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ouro Negro), foram realizados quatro experimentos em solução nutritiva, na Universidade Federal de Viçosa. Nos dois primeiros experimentos, com aplicação foliar, foram testados dois níveis de Zn na solução nutritiva de pré-tratamento (suficiência e deficiência) e três formas de suprimento de Zn às plantas (Zn EDTA na concentração de 0,31% em pincelamento na folha, ZnSO₄ na concentração de 0,4% em pincelamento na folha, e testemunha sem aplicação de Zn na folha) num esquema fatorial 2x3. Os dois últimos experimentos com aplicação radicular foram instalados em sistema de vasos geminados, sendo o sistema radicular igualmente dividido nos dois recipientes. Em um dos recipientes geminados foi adicionada uma solução sem Zn, e, no outro, foram aplicadas doses crescentes do elemento (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 µmol/l), as quais constituíram os tratamentos. O delineamento experimental utilizado para os quatro ensaios foi o de blocos ao acaso com quatro repetições.

As principais conclusões foram:

1) Utilizando a aplicação foliar de ZnSO₄ e ZnEDTA:

- Tanto no experimento com feijoeiro quanto no experimento com cafeeiro, o $ZnSO_4$ apresentou maior adsorção à cutícula da folha do que o $ZnEDTA$, demonstrando ser a retenção cuticular de Zn importante barreira à sua absorção.

- O estado nutricional do feijoeiro em Zn apresentou ter efeito significativo no melhor aproveitamento do Zn aplicado via foliar.

- Tanto a folha pincelada com zinco como a planta inteira de feijoeiro adquiriram maior quantidade de Zn que as folhas de cafeeiro. A cutícula mais cerosa e com menos tricomas das folhas de cafeeiro deve representar uma barreira importante à aquisição de Zn.

- O feijoeiro apresentou maior translocação de Zn em condição de adequada nutrição em Zn, que em condição inadequada, indicando ser o aspecto nutricional fator importante na maior ou menor translocação de Zn.

- Em condições de inadequada nutrição em Zn, em ambas as espécies, a utilização de $ZnEDTA$ demonstrou ser significativamente mais eficiente em termos de translocação do elemento para fora da folha em que foi aplicado.

- O cafeeiro apresentou acúmulo de Zn no caule. Esse acúmulo parece indicar maior retenção de Zn do $ZnSO_4$ nesse órgão, em condição de deficiência, e que há uma grande afinidade do Zn^{++} do sulfato com as cargas livres existentes nos vasos condutores.

2) Utilizando a aplicação radicular de doses de Zn:

- O caule apresentou-se como local de armazenamento de Zn, tanto em cafeeiro como em feijoeiro.

- No feijoeiro, o Zn apresentou mobilidade no floema, indicando que o Zn é retranslocado da parte aérea para o sistema radicular.

- O feijoeiro apresentou resposta linear crescente, tanto para teor como para conteúdo de Zn, nas diferentes partes analisadas, em função das doses de Zn, enquanto o cafeeiro apresentou mínima alteração no que diz respeito ao peso da matéria seca, conteúdo e teor de Zn na parte aérea. Essas diferenças, possivelmente, podem ser explicadas pelo crescimento lento do cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUNE, A., URBACH, W., DIETZ, K. J. Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 153-162, 1994.
- BUKOVAC, M.J., WITTEWER, S.H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. **Plant Physiol.**, v. 32, p. 428-435, 1957.
- CHAMEL, A., NEWMANN, P. Foliar absorption of niquel. Determination of its cuticular behavior using isolated cuticles. **J. Plant Nutr.**, v. 10, p. 99-111, 1987.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **J. Agric. Food Chem.**, v. 23, p. 458-460, 1975.
- CLARKSON, D.T., HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Plant Physiol.**, v. 31, 239-293, 1980.
- FÁVARO, J.R.A. **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio.** Viçosa: UFV, 1992. 91p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- FERRANDON, M., CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn, and Zn supplied in organic and inorganic form. **J. Plant Nutr.**, v. 11, p. 248-263, 1988.

- FONTES, R .L. F. **Purificação de soluções nutritivas para indução de deficiência de Zn e Cu em plantas.** Viçosa: UFV, 1986. 72p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- FRANCO, C.M. Micronutrientes na cultura do cafeeiro. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Micronutrientes.** S. l.: 1982. p.75-89.
- GARCIA, A.W.R., SALGADO, A.R. Absorção de zinco pelo cafeeiro através de sais e misturas quelatizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 9, 1991. São Lourenço, Resumos ... São Lourenço: 1981. p. 39-47.
- GUIMARÃES, P.T.G., CARVALHO, J.G., MELLES, C.C.A., et al.. **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.... ESALQ**, 40:497-507, 1983.
- KROTZ, R. M., EVANGELON, B. P., WAGNER, G. J. Relationships between cadmium, zinc, cd-peptide and organic acid in tobacco suspension cells. **Plant Physiol.**, v. 91, p. 780-787, 1989.
- LONERAGAN, J.F., KIRK, G.J., WEBB, J. Translocation and function of zinc in roots. **J. Plant Nutr.**, v. 10, p. 1247-1254, 1987.
- LONGNECKER, N.E., ROBSON, A.D. Distribution and transport of Zn in Plants. In: ROBSON A.D. (Ed.). **Zinc in soil and plants.** S.l. Kluwer Academic 1993. p. 79-91.
- MALAVOLTA, E., MALAVOLTA, M., STEFANUTTI, R., et al. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro - Absorção radicular de sais de zinco marcados com zinco radioativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 22, 1996, **Anais...** Águas de Lindóia: s.n., 1996. p. 67-68
- MARSH, D. B., WATER,L., ASCHER, P. D. The use of a split-root technique to study Zn moviment and activity in a nodulating cowpea root system. **Hort Science**,v. 20, n. 3, p. 425 -427. 1985.
- McGRATH J.F., ROBSON A.D. The distribution of zinc and the diagnosis of zinc deficiencie to seedlings of *Pinus radiata* D. Don. **Australian Forestry Reserch**, v. 14 p. 175-186, 1984a.
- McGRATH, J. F., ROBSON, A. D. The influence of zinc supply to seedlings of *Pinus radiata* D. Don. on the internal transport of recetly obsorbed zinc. **Australian J. Plant Physiol.**, v. 11, n. 3, p. 165-178, 1984b.

- McGRATH J. F., ROBSON, A. D. The movement of zinc through excised stems of seedlings of *Pinus radiata* D. Don. **An. Bot.**, v. 54, p. 231 - 242, 1984c.
- NEVES, J. C. L. **Microminerais**: Curso de manejo e fertilidade do solo. Brasília: ABEAS, 1994. 26p. (Módulo 10)
- OHKI, K. Critical zinc levels related to early and development of determinate soybeans **Agron. J.**, v. 69, p. 969-974, 1977.
- ORPHANOS, P.I. Spray application of zinc to young apple trees. **Hort. Res.**, v. 15, p. 23-30, 1975.
- PEASLEE, D.E., ISARANGKURA, R., LEGGETT, J.G. Accumulation and translocation of zinc by two corn cultivars. **Agron. J.**, v. 73, p. 729-32, 1981.
- PEARSON, J. N., RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **J. Exp. Bot.**, v. 45 p.1829-1835, 1994.
- PEARSON, J. N., RENGEL, Z. Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient level of Zn and Mn. I. During vegetative growth. **J. Exp. Bot.**, v. 46, p. 833-839, 1995a.
- PEARSON, J. N., RENGEL, Z. Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn II. During grain development. **J. Exp. Bot.**, v. 46, p. 841-845, 1995b.
- POLAR, R. Variations in zinc content of subcellular fractions from young and old roots, stems and leaves of broad beans (*Vicia faba*). **Physiol. Plant**, v. 38, p. 159-165, 1976.
- RAMANI, S., KANNAN, S. Studies on translocation of zinc in bean plants: evidence for retranslocation during new growth. **J. Plant Nutr.**, v. 121, p. 313-318, 1985.
- REUTER, D.J., LONERAGAN, J.F., ROBSON, A.O. et al. Zinc in subterranean cloves (*Trifolium subterraneum* L. cv. Seaton Park). I. Effects of zinc supply on distribution of zinc and dry weight among plant parts. **Aust. J. Agric. Res.** v. 33, p. 989-999, 1982.
- RICIMAN, D.S., JONES, G.B. Distribution of zinc and copper in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) grown in culture solutions supplied with graduated amounts of zinc. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 9, p. 73-122, 1958.
- RÖMHELD V., MARSCHNER H. Functions of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J. J., SHUMAN, C. M., WELCH, R. M. (Eds.).

Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 297-328.

ROSOLÉM, C. A. Eficiência da adubação foliar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992. **Anais...** Piracicaba: Fundação Cargill, 1992. p. 315-351.

ROSS, M. W. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plants Science**, v. 14 n. 1, p. 49-82, 1995.

SANTA MARIA, G.E., COGLIOATTI, D.H. Bidirectional Zn fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. **J. Plant. Physiol.**, v. 132, p. 312-325, 1988.

SCHMIDKE, I., STEPHAN, U. W. Transport of metal micronutrients in the phloem of castor bean (*Ricinus communis*) seedlings. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 147-153, 1995.

SCHONHERR, J., BUKOVAC, M.J. Ion exchange properties of isolated tomato fruit cuticular membranes. Exchange capacity nature of fixed charge and cation selectivity. **Planta**, v. 109, p. 73-93, 1973.

SCHONHERR, J., HUBER R. Plant cuticles are polyelectrolytes with isoelectric points around three. **Plant Physiol.** v. 59, p. 145-150, 1977.

THORNE, W. Zinc deficiency and its control. **Adv. Agron.**, v. 9, p. 31-65, 1975.

TIFFIN, L.O. Translocation of manganese, iron, cobalt and zinc in tomato. **Plant Physiol.** v. 42, 1427-1432, 1967.

TURNER, R.G. The subcellular distribution of zinc and copper within the roots of metal tolerant clones of *Agrostis tenuis* Sibth. **New Phytol.**, v. 69, p. 725-731, 1970.

VAN GOOR, B.J., WIERSMA, D. Chemical forms of manganese and zinc in phloem exsudates. **Physiol. Plant.**, v. 36, p. 213-216, 1976.

WALLIHAN E.F., HEYMANN-HERSCHBERG, L. Some factors affecting absorption and translocation of zinc in citrus plants. **Plant. Physiol.**, v. 31, p. 294-299, 1956.

WEBB, W. J., LONERAGAN, J. F. Zinc translocation to wheat roots and its implications for a phosphorus/zinc interaction in wheat plants. **J. Plant. Nutr.**, v. 13, n. 12, p. 1499-1515, 1990.

WHITE, M., BAKER, F., CHANEY, R. et al. A. Metal complexation in xylem fluid. II. Theoretical equilibrium model and computational computer program. **Plant. Physiol.**, v. 67, p. 301-310, 1981.

YAMADA, Y., WITTEWER, S.H., BUKOVAC, M.J. Penetration of ions through isolated cuticles. **Plant Physiol.**, v. 39, p. 28-32, 1964.

ZHANG, F. S. Effect of zinc nutritional status on the zinc uptake in wheat. **Acta Phytophysiologica Sinica**, v. 19, n. 2, p. 143-148, 1993.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo de Zn adquirido, folha média (FM), translocado, parte aérea (PA), raiz (R), folha inferior 2 (FI2), folha inferior 1 (FII), folha superior 1 (FS1), folha superior 2 (FS2), caule (C) de plantas de feijoeiro Ouro Negro, na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de Zn na solução nutritiva, com picelamento com ZnSO₄ (Pin1) e ZnEDTA (Pin2)

FV	GL	Quadrado médio									
		Zn adq	FM	Trams.	PA+	R+	FI2+	FI+	FS+	FS2+	C+
Bloco	3	80569,24	5092,1980	4397,9630	0,0123	0,0777	1,8193	0,1337	0,9272	2,3043	0,04024
Zn	1	213310,000***	36987,9500*	73729,9100	2,0592***	2,3716**	1,2045	34,8690***	16,6464	60,9570***	2,0736* **
Pin	1	15300,450*	11453,8100	348,6622	0,0650	0,0092	1,4701	0,0441	0,0756***	0,1870	0,0675
Zn x Pin	1	2079,812	90,2030	3260,6950	0,1122	0,3600	0,0915	3,2220*	0,0056	3,9105	0,0342
Zn/Pin1	1	12857,800**	16712,4900	54000,4800***	1,5664***	2,2898**	0,9800	29,6320***	8,6320**	47,8711***	0,7875*
Zn/Pin2	1	86632,030***	20365,6600	22990,1100**	0,6050**	0,4410	0,3160	8,4460**	8,0200**	16,9944*	1,3203* *
Pin/Zn1	1	14331,240*	4755,5620	2870,9260	0,0031	0,1275	0,4147	1,2561	0,0200	1,1935	0,0990
Pin/Zn2	1	3047,024	6788,4540	738,4320	0,1740*	0,2415	1,1476	2,0100*	0,0612	2,9040	0,0028
Resíduo	9	2500,782	4324,0110	1932,3910	0,0279	0,1484	0,6151	0,3927	0,5958	1,6140	0,0785
CV		10,23	16,81	44,71	9,75	28,20	32,98	15,32	21,41	28,62	23,10

+ Dados transformados em $\sqrt{(X + 1)}$.

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 2A -Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo relativo de Zn (%) adquirido , folha média (FM), translocado, parte aérea (PA), raiz (R), folha inferior 2 (FI2), folha inferior 1 (FI1), folha superior 1 (FS1), folha superior 2 (FS2), caule (C) de plantas de feijoeiro Ouro Negro na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de Zn na solução nutritiva, com pincelamento com ZnSO₄ (Pin1) e ZnEDTA (Pin2)

FV	GL	Quadrado médio								
		FM%	Trams.%+	PA%	R%	FI2%+	FI1%	FS1%	FS2%	C%
Bloco	3	71,1279	0,1038	116,7371	103,7342	0,1610	76,7970	104,0665	23,1230	10,6708
Zn	1	1401,3790***	0,9702***	96,3834	75,5942	0,9072**	2,8815	141,6099	227,3058	8,5702
Pin	1	11,4583	0,0812	19,3819	23,8614	0,0689	0,9751	87,7968	87,5627	0,9950
Zn x Pin	1	80,1025	0,1224	134,9661	146,7854	0,0027	50,9438	123,5432	98,7539	231,4201*
Zn/Pin1	1	1075,7840**	0,8911***	229,7296	216,5280	0,5050*	39,0286	264,8452*	353,5141	75,4606
Zn/Pin2	1	405,6976*	0,2016*	1,6199	5,8516	0,4050*	14,7968	0,3081	22,5456	164,5298*
Pin/Zn1	1	15,4846	0,0021	128,3202	144,5170	0,0496	18,9112	1,5225	0,1681	131,3820*
Pin/Zn2	1	76,0761	0,2016*	26,0281	26,1364	0,0220	33,0078	209,8176*	186,1485	101,0331
Resíduo	9	49,0056	0,0292	126,4186	126,4096	0,0528	77,3642	36,4618	71,7267	23,3707
CV		8,52	14,53	13,89	59,80	26,99	42,07	33,85	40,74	38,18

+ Dados transformados em log (X+1).

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade..

Quadro 3A - Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo de Zn adquirido, folha média (FM), translocado, parte aérea (PA), raiz (R), folha inferior 2 (FI2), folha inferior 1 (FS1), folha superior 2 (FS2), caule (C), de plantas de cafeeiro Catuaí Vermelha, na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de Zn na solução nutritiva, com pincelamento com ZnSO₄ e ZnEDTA (Pin2)

FV	GL	Quadrado médio									
		Zn adq	FM	trams	PA	R	FI2+	FI1+	FS1+	FS2+	C+
Bloco	3	593,0600*	117,1000	246,8300	114,2300*	29,1480	0,1328	0,1434	0,0134	0,3392*	3,1624*
Zn	1	183,8100	7,0800	265,7700	123,0400	26,2650	0,0441	0,1139	0,5550*	0,0150	2,2801
Pin	1	1147,3500*	21,2936**	148,5400	22,8200	56,1750	0,0307	0,4726	0,1936	0,0001	0,0004
Zn/Pin	1	9,2600	0,1500	12,3800	2,6600	3,2220	0,0056	0,0297	0,1156	0,1207	0,0288
Zn/Pin1	1	55,2826	2,5887	81,7920	44,7457	5,5444	0,0091	0,1300	0,0820	0,0253	1,4112
Zn/Pin2	1	137,7800	4,6300	196,3171	80,9628	23,9432	0,0406	0,0136	0,5886	0,1104	0,8978
Pin/Zn1	1	681,3586*	1046,9890*	37,6278	4,9455	16,2450	0,0050	0,1326	0,0050	0,0061	0,0180
Pin/Zn2	1	475,2444	1982,5200*	123,2450	20,5440	43,1520	0,0312	0,3697	0,3042*	0,0595	0,0180
Resíduo	9	113,5266	120,1714	83,3257	28,8171	20,0453	0,0726	0,2496	0,9992	0,6435	0,6531
CV		22,85	39,38	48,62	48,18	58,49	19,74	34,59	20,44	16,99	33,50

+ Dados transformados em $\sqrt{(X + 1)}$.

** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 4A - Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo relativo de Zn (%) adquirido, folha média (FM), translocado, parte aérea (PA), raiz (R), folha inferior 2 (FI2), folha inferior 1 (FI1), folha superior 1 (FS1), folha superior 2 (FS2), caule (C) de plantas de cafeeiro Catuaí Vermelho na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de ZN na solução nutritiva, com pincelamento com ZnSO₄ e com ZnEDTA (Pin2)

FV	GL	Quadrado médio								
		FM%	Trams%	PA%	R%	FI2%+	FI1%	FS1%	FS2%	C%
Bloco	3	172,4896	172,4764	208,0489	208,0331	2,2193	1,3291	1,1730	2,3133	709,7998**
Zn	1	264,9571	264,8757	26,1887	26,2400	0,1368	5,6287	2,3330	1,1556	302,6730
Pin	1	3280,1400**	3280,4260**	579,0038	579,2443	1,1449	1,6705	0,4730	0,6162	281,8202
Zn xPin	1	38,2232	38,2542	39,5326	39,5955	0,4890	0,7525	0,3570	0,6399	30,3325
Zn/Pin1	1	50,9545	50,9040	65,0369	65,1511	0,0544	1,1325	0,4324	1,7578	262,3196
Zn/Pin2	1	252,2258	252,2256	0,6844	0,6844	0,5724	5,2487	2,2578	0,0378	70,6860
Pin/Zn1	1	1305,0940	1305,0940	157,9753	157,9753	0,0684	2,3328	0,0721	1,2561	63,6192
Pin/Zn2	1	2013,2690*	2013,5860*	460,5611	460,8647	1,5664	0,0903	0,3321	0,0001	248,5336
Resíduo	9	307,6547	307,6614	291,0787	291,1176	1,9016	3,9016	0,9200	1,1445	88,2171
C.V.		30,25	41,75	27,92	43,88	52,87	71,20	31,51	36,05	36,65

+ Dados transformados em $\sqrt{X + 1}$.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 5A - Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo de Zn (adq.), lixiviado (lixiv.), parede (PAR.), solúvel (SOL.), e de respectivos dados de conteúdo relativo de Zn (%) em folhas de feijoeiro Ouro Negro, na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de Zn na solução nutritiva, com pincelamento com ZnSO₄ (Pin1), e com ZnEDTA (Pin2)

FV	GL	Quadrado médio							
		adq.	lixiv.	PAR.	SOL.	Adq%	lixiv.%	PAR%	SOL%
Bloco	3	4539,1450	4339,146	343,9821	2671,5480	86,0785	86,8063	27,4534*	27,4671*
Zn	1	11139,7500*	11139,7500*	509,4614	6884,2290*	212,7951*	214,1832*	3,7152	3,7056*
Pin	1	2937,6400	2937,6400	6238,8280***	17738,5800**	56,7385	57,5321	1583,0450***	1582,7846***
Zn xPin	1	1600,8000	1600,7990	19,6582	1265,3114	31,1085	31,6406	14,0812	14,0625
Zn/Pin1	1	2147,4180	2147,4200	164,4845	1123,3800	40,5900	40,5900	1,6653	1,6653
Zn/Pin2	1	10.593,1300*	10593,1300*	364,6350	7026,1640	203,3136*	205,2338*	16,1312	16,1028
Pin/Zn1	1	4437,7620	4437,7610	2779,0370**	14239,5500*	85,9360	87,2520	649,2606***	649,2603
Pin/Zn2	1	100,6779	100,6783	3479,4480	4764,3430**	1,9110	1,9207	947,8657***	947,8657
Resíduo	9	1675,3230	1675,3230	137,1349	1264,9100	31,6046	31,289	6,3529	6,3529
CV		17,61	8,29	23,10	19,43	17,48	8,25	11,43	3,23

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 6A - Resumo da análise de variância dos dados de conteúdo de Zn adquirido (adq.), lixiviado (lixiv.), parede (PAR), solúvel (SOL.), e de respectivos dados de conteúdo relativo de Zn (%) em folhas de cafeeiro Ouro Negro na presença (Zn1) e na ausência (Zn2) de Zn na solução nutritiva com pincelamento com ZnSO₄ e com ZnEDAT (Pin2)

FV	GL	Quadrado Médio							
		adq.	lixiv.	PAR.	SOL.	Adq%	lixiv.%	PAR%	SOL%
Bloco	3	348,5091	348,5088	119,1428	60,4488	6,5799	6,5799	43,4384	53,3078
Zn	1	10,8240	10,8240	0,1909	8,1553	0,2070	0,2070	184,2807	33,9597
Pin	1	3660,2500*	3660,2480*	1147,0150*	712,6898*	69,0561*	69,0560*	1496,5290**	956,8197***
Zn x Pin	1	28,6225	28,6227	1,5863	16,7751	0,5402	0,5402	15,7212	14,3073
Zn/Pin1	1	2,1217	2,1218	0,3382	0,7687	0,0391	0,0392	46,1760	46,1760
Zn/Pin2	1	37,3248	327,3249	1,4390	24,1616	0,7080	0,7080	153,8258	2,0910
Pin/Zn1	1	2168,110*	2168,1120	614,8822	474,0736	40,9060	40,9059	602,7393*	602,5657*
Pin/Zn2	1	1520,7610	1520,7590	529,7187	255,3913	28,6902	28,6902	909,5113*	368,5613*
Resíduo	9	424,5509	424,5518	119,7829	96,8494	8,0288	8,0288	86,2464	38,8819
CV		60,7990	2,9720	48,30	48,50	2,97	2,97	28,42	9,54

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 7A- Resumo das análises de variância dos dados de teor de Zn de folha superior (F.SUP), folha inferior (F.INF), caule (C), raiz com níveis de Zn (R) e raiz sem Zn (R00), em feijoeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	GL	Quadrado médio				
		FSUP	FINF	C	R	R00
Blocos	3	81,2399*	100,3146**	38,3171	153,7797	68,3137
Nzn	5	99,4293**	222,0109***	459,5990***	1656,369***	107,6752
L	1	374,6428***	900,8846***	2156,7990***	7689,231	460,2798
Q	1	16,2110	18,2666	31,6606	125,7425	0,2342
Des.Reg.	3	106,2906	190,8993	109,5243	466,8710	77,8614
Resíduo	15	19,1750	13,4519	30,9912	90,6727	44,2619
CV		12,02	10,68	12,07	13,14	14,80

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 8A - Resumo das análises de variância dos dados de matéria seca de folha (F), caule (C), raiz com níveis de Zn (R) e raiz sem Zn (R00), em feijoeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	GL	Quadrado médio			
		FINF	C	R	R00
Blocos	3	1,3579	0,1919	0,2091	0,0066
NZn	5	2,5546	0,1851	0,0684	0,0376
L	1	0,2001	0,4891	0,0528	0,0898
Q	1	0,1765*	0,2560	0,2384*	0,0001
Des.Reg.	3	0,0285	0,1805	0,0507	0,0633
Resíduos	15	0,2845	0,1458	0,0420	0,0406
CV		9,33	12,93	17,94	18,60

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 9A - Resumo das análises de variância dos dados de conteúdo de Zn de folha superior (F.SUP), folha inferior (F.INF), caule (C), raiz com níveis de Zn (R) e raiz sem Zn (R00), em feijoeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	Quadrado médio					
	GL	FSUP	FINF	C	R	R00
Blocos	3	374,1518	1687,2450	1620,3020	1553,1050*	87,5159
NZn	5	2302,2470**	6138,0090***	6214,2060***	2706,8760***	298,6458***
L	1	10501,8500***	24592,7100***	28529,0200***	12617,6500***	1350,8610**
Q	1	18,1309	773,1970	1499,7380	277,6845	20,1337
Des.Reg.	3	891,2624	5258,8436	10429,1590	602,3184	122,2320
Resíduos	15	361,4871	205,5789	543,3768	639,0253	24,8356
CV		11,31	8,71	16,92	19,93	10,04

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 10A - Resumo das análises de variância dos dados de teor de Zn de folha superior (F.SUP), folha inferior (F.INF), caule (C), raiz com níveis de Zn (R) e raiz sem Zn (R00), em cafeeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	GL	Quadrado médio				
		FSUP	FINF	C	R	R00
Blocos	3	15,0772	20,628	166,6766	363, 1396	10,9195
NZn	5	0,8122	6,1788	146,3132	3260,5200***	17,6759
L	1	0,0069	1,9212	199,8781	15195,4900***	10,0703
Q	1	2,7111	10,8588	170,6664	874,2993*	7,7934
Des. Reg.	3	1,3433	18,1144	361,0332	232,8312	70,5157
Resíduo	15	1,8755	3,1185	55,5325	199,0124	20,5684
C.V.		7,64	11,99	19,51	28,83	18,98

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

Quadro 11A - Resumo das análises de variância dos dados de matéria seca de folha (F), caule (C), raiz com níveis de Zn (R), e raiz sem Zn (R00), em cafeeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	GL	Quadrado médio			
		F	C	R	ROO
Blocos	3	0,1352	0,0459	0,0430	0,0706
NZn	5	0,6817	0,0528	0,2993	0,1199
L	1	0,3867	0,0712	0,1217	0,2408
Q	1	0,1274	0,0642	0,0005	0,0219
Des.Reg.	3	0,0702	0,1287	1,3754	0,3371
Resíduo	15	0,4661	0,1357	0,2723	0,1184
CV			15,02	23,51	14,67

Quadro 12A - Resumo das análises de variância dos dados de conteúdo de Zn de folha superior (F.SUP), folha inferior (F.INF), caule (C), raiz com níveis de Zn (R) e raiz sem Zn (R00), em cafeeiro com seis níveis de Zn (NZn) na solução nutritiva

FV	GL	Quadrado médio				
		FSUP	FINF	C	R	ROO
Blocos	3	518,4264**	276,5760	1394,8540	2703,2090	163,3699
NZn	5	320,5728*	62,1193	936,3226	18609,7800***	23,1153
L	1	416,5738*	6,6534	2180,9410	88286,3800***	12,3935
Q	1	820,8441***	98,7895	434,1201	3604,9090*	6,9516
Des.Reg.	3	365,4398	205,1534	2066,6006	1157,4775	96,2286
Resíduo	15	80,0190	92,6224	452,9644	2160,3460	97,2369
C.V		9,68	21,90	22,84	41,91	17,79

*** Significativo pelo teste F a 0,1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1,0% de probabilidade.

* Significativo pelo teste F a 5,0% de probabilidade.

DECLARAÇÃO

Declaro, junto ao Conselho de Pós-graduação, que a tese de IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO, intitulada TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn EM CAFEIRO E FEIJOEIRO, APLICADO VIA RAÍZES E FOLHAS e apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*, passou por revisão de Português.

Viçosa, 10 de setembro de 1997.

ROZIMAR GOMES DA SILVA FERREIRA

DECLARAÇÃO

Declaro, junto ao Conselho de Pós-graduação, que a tese de IVAN ALENCAR DE LIMA FRANCO, apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*, após revisão de Português passou a ter o título: TRANSLOCAÇÃO E COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE Zn EM CAFEIEIRO E FEIJOEIRO, APLICADO VIA RAÍZES E FOLHAS.

Viçosa, 10 de setembro de 1997.

HERMÍNIA EMÍLIA PRIETO MARTINEZ