

Translocação e compartimentalização de Zn aplicado via ZnSO₄ e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro¹

Translocation and compartmentation of zinc by ZnSO₄ E ZnEDTA applied on coffee and bean seedlings leaves

Ivan Alencar de Lima Franco² Hermínia Emilia Prieto Martinez³
André Vinicius Zabini³ Paulo Cezar Rezende Fontes⁴

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a translocação e a compartimentalização de Zn, aplicado via foliar nas formas de ZnSO₄ e ZnEDTA, foram conduzidos dois ensaios em solução nutritiva, em casa de vegetação, utilizando-se mudas de cafeeiro e feijoeiro, em condições de suficiência e deficiência de Zn. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial (2 x 3), correspondendo a dois níveis de Zn na solução nutritiva (suficiência e deficiência) e três formas de suprimento de Zn às plantas (ZnSO₄ e ZnEDTA a 14mmol L⁻¹ de Zn, ambos em pincelamento na folha, e testemunha sem receber aplicação de Zn). Em ambas as espécies, o ZnSO₄ foi mais adsorvido à cutícula da folha do que o ZnEDTA, demonstrando ser a retenção cuticular de Zn importante barreira na sua absorção. O estado nutricional do feijoeiro em Zn afetou o aproveitamento do Zn aplicado via foliar. Tanto a folha pincelada como a planta inteira de feijoeiro adquiriram maior quantidade de Zn do que as do cafeeiro. Em condição de inadequada nutrição em Zn, em ambas as espécies, a utilização de ZnEDTA foi mais eficiente na translocação do Zn. Quando foi aplicado ZnSO₄ às folhas de cafeeiro crescidas em solução nutritiva não contendo Zn, houve acúmulo de Zn no caule, indicando que há grande afinidade do Zn²⁺ do sulfato com as cargas livres existentes nos vasos condutores.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Phaseolus vulgaris*, micronutriente, fontes de Zn.

ABSTRACT

Two experiments were conducted aiming to evaluate translocation and compartmentation of ZnSO₄ and ZnEDTA applied on leaves of coffee and bean seedlings previously grown under Zn sufficiency or deficiency in nutritive solution in

greenhouse. The treatments applied were 14mmol L⁻¹ ZnSO₄, ZnEDTA and test without zinc applied on leaves. In both species, ZnSO₄ was more retained on leaf cuticle, indicating cuticular zinc retention to be an important barrier in its uptake. The nutritional status of bean plants had a significant effect upon zinc utilization when it was applied on leaves. Bean plants enhanced zinc acquisition more than coffee seedlings. Plants grown in zinc deficient solution showed a higher efficiency in ZnEDTA translocation. Coffee seedlings grown in zinc deficient solution showed higher zinc retention in the stem, suggesting high Zn²⁺ affinity with negatively charged groups in the conductive vessels.

Key words: *Coffea arabica*, *Phaseolus vulgaris*, micronutrient, Zn sources.

INTRODUÇÃO

O suprimento de Zn via foliar aos cafeeiros é uma técnica com eficiência comprovada, especialmente em lavouras implantadas em solos de textura argilosa, onde ocorre forte adsorção deste micronutriente por óxidos de Fe, Al e Mn (MUNIZ, 1995). Entretanto, para que o nutriente depositado na superfície da folha entre no citoplasma ou no simplasto, é necessário que este atravesse as barreiras impostas pela cutícula foliar, parede celular e plasmalema (BOARETTO, 2002).

A eficiência da aplicação foliar de Zn depende de vários fatores que influenciam a absorção do elemento, tais como: características das folhas, particularmente das cutículas que as recobrem; técnica

¹Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa (UFV) para obtenção do título de Doutor em Fitotecnia.

²Pós-graduando do Departamento de Fitotecnia, UFV, 36571-000, Viçosa, MG. E-mail: zabini@hotmail.com

³Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia, UFV. E-mail: herminia@ufv.br

⁴Professor Titular do Departamento de Fitotecnia, UFV. E-mail: pacerefo@mail.ufv.br

de pulverização; condições climáticas e características químicas da solução aplicada (RENA & FÁVARO, 2000). Em relação ao último fator, a natureza do ligante associado ao Zn pode ser de grande significância para a habilidade do componente se mover através da cutícula e se translocar dentro do tecido vascular (RAMANI & KANNAN, 1985). Segundo FÁVARO (1992), a adição de KCl à solução de $ZnSO_4$ elevou significativamente os teores foliares de Zn, na ordem de 99, 78 e 69% aos 3, 30 e 60 dias após a pulverização, enquanto a adição de uréia não provocou aumento na absorção de zinco pelo cafeeiro.

Aplicações foliares de Zn na forma quelatizada ou sais de Zn têm demonstrado diferenças, tanto na absorção quanto na translocação em feijoeiro (RAMANI & KANNAN, 1985), em cafeeiro (MALAVOLTA et al., 1996), e em outras culturas (FERRANDON & CHAMEL, 1988; ZHANG, 1993). Nesse sentido, o $ZnSO_4$, em comparação com o $ZnEDTA$, apresentou maior adsorção na cutícula (FERRANDON & CHAMEL, 1988). O $ZnEDTA$ parece apresentar maior mobilidade que o $ZnSO_4$, indicando que os ligantes funcionam como carregadores do Zn (SCHMIDKE & STEPHAN, 1995; RAMANI & KANNAN, 1985).

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 translocaram quantidades maiores que plantas crescidas em condição de deficiência. No entanto, em termos proporcionais, as plantas crescidas em deficiência translocaram mais Zn. RICEMAN e JONES (1958) também observaram maior translocação de Zn de folhas de plantas crescidas em condição de suficiência para as sementes, em relação a plantas deficientes.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a mobilidade e a compartimentalização do Zn aplicado nas formas de $ZnSO_4$ e $ZnEDTA$ nas folhas de cafeeiro e feijoeiro, cultivados em condições de suficiência e deficiência em Zn.

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 $5,0 \pm 0,5$. As soluções-estoque de macronutrientes foram submetidas à técnica de purificação para remoção de Zn, com o reagente pirrolidina ditiocarbamato de amônio (APDC) segundo FONTES (1986). Para o primeiro ensaio, mudas de cafeeiro, obtidas por semeadura em germinador, foram selecionadas e cultivadas em solução nutritiva de CLARK (1975) na presença e ausência de Zn durante sete meses. Após esse período, as plantas com 10 a 11 pares de folhas foram submetidas à omissão de Zn e, dois dias após, o 5º par de folhas, contado a partir da base, foi pincelado nos dois lados com 0,8ml de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ou de $ZnEDTA$ a $14mmol L^{-1}$, totalizando 727,2mg de Zn por planta, havendo a testemunha que não recebeu pincelamento.

Foram então constituídos seis tratamentos, num fatorial 2×3 , correspondendo a dois níveis de Zn na solução nutritiva de pré-tratamento (suficiência e deficiência) e três formas de suprimento de Zn às plantas ($ZnSO_4$ em pincelamento na folha; $ZnEDTA$ 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 plantas de feijão permaneceram em solução completa e outra metade em solução sem Zn durante 45 dias, sendo então submetidas à omissão de Zn por dois dias. Após esse período, foram efetuados os pincelamentos no 5º trifólio do feijoeiro, com os mesmos tratamentos, distribuição, número de repetições e soluções do ensaio anterior.

As plantas dos dois ensaios foram avaliadas quatro dias após o pincelamento, coletando-se folhas da porção inferior, média e superior, além do caule e raiz (Figura 1). As partes das plantas foram lavadas em água desionizada, secas em estufa de circulação forçada à temperatura de 70-75°C, até peso constante e, posteriormente, pesadas, moídas e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica, sendo a concentração de Zn obtida por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997). Após, calculou-se o conteúdo total de Zn em todas as partes coletadas. Antes da secagem, 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 submetida ao fracionamento celular por centrifugação diferencial, segundo FÁVARO (1992), obtendo-se o conteúdo de Zn na fração solúvel e na parede celular.

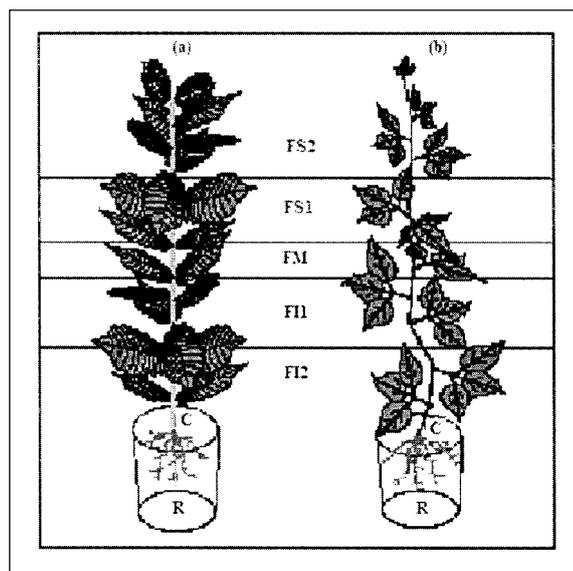


Figura 1 - Representação esquemática da divisão de plantas de café (a) e feijão (b) na colheita: FI2, folha inferior 2; FI1, folha inferior 1; FM, folha média (5ª folha ou trifólio); FS1, folha superior 1; FS2, folha superior 2; R, raiz; C, caule.

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), realizando-se a análise estatística por um fatorial 2x2, sendo os fatores: pincelamento com $ZnSO_4$ e ZnEDTA e os dois estados nutricionais das plantas.

Com base nos resultados do fracionamento celular, calculou-se o Zn adquirido pela 5ª 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 5ª folha.

A partir dos resultados de incrementos no conteúdo de Zn na matéria seca das diferentes partes em que as plantas foram divididas, obtiveram-se os valores de Zn adquirido, translocado e retido na parte aérea total das plantas, da seguinte forma: Zn adquirido = somatório dos acréscimos no conteúdo de Zn de todas as partes analisadas da planta (folhas, caules e raízes); Zn translocado = diferença entre o Zn adquirido pela planta e o acréscimo no conteúdo de Zn da folha média pincelada (5ª folha ou trifólio); Zn

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

Os dados de conteúdo de Zn nas folhas e caules de feijoeiro e cafeeiro foram transformados em $\sqrt{x+1}$, para obter homogeneidade de variância e normalidade dos dados. Realizou-se a análise de variância e teste de médias (Duncan a 5%) para todas as características estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 2 e 3 mostram os resultados do fracionamento celular de Zn, aplicado na folha mediana (5ª folha ou trifólio) de feijoeiro e cafeeiro, respectivamente. As plantas de feijão (Figura 2) foram as que adquiriram a maior quantidade do Zn (mg) aplicado nas folhas, sendo que as plantas de café tiveram do total aplicado de Zn, mais de 670mg lixiviado e, ou, translocado da folha média (Figura 3). Somente nas plantas de feijão pinceladas com ZnEDTA, a quantidade de Zn adquirida pelas folhas de plantas bem nutridas foi significativamente superior da quantidade adquirida por plantas mal nutridas (Figura 2). Em plantas de cafeeiro, o estado nutricional não afetou a quantidade de Zn adquirido em qualquer das fontes de Zn pinceladas (Figura 3).

No feijoeiro, quando se procedeu o fracionamento celular da folha média, observou-se uma diferença significativa entre as fontes de Zn no pincelamento para o conteúdo das frações de Zn solúvel e retida em parede. Plantas de feijoeiro, independente do suprimento de Zn na solução nutritiva, apresentaram o mesmo comportamento quanto à fonte de Zn utilizada no pincelamento (Figura 2) indicando, em ambos os casos, que o $ZnSO_4$ apresenta maior adsorção na parede celular que o ZnEDTA. Neste contexto, RAMANI & KANNAN (1985), FERRANDON & CHAMEL (1988) e ZHANG (1993) relataram que o $ZnSO_4$ apresentou alta adsorção à parede celular, em relação ao ZnEDTA, justificando esse fato a alta afinidade que o Zn^{2+} dissociado do $ZnSO_4$ tem pelas cargas existentes na parede celular, o que não acontece com o Zn do ZnEDTA, o qual se apresenta quelatizado e, portanto, praticamente sem cargas livres.

Plantas de cafeeiro bem nutridas em Zn apresentaram maior conteúdo do elemento na parede celular quando se aplicou o Zn na forma de $ZnSO_4$ (Figura 3). Como o relatado para o feijoeiro, o comportamento apresentado pelo $ZnSO_4$ explica-se pela maior retenção do Zn^{2+} livre nas cargas negativas existentes na parede celular.

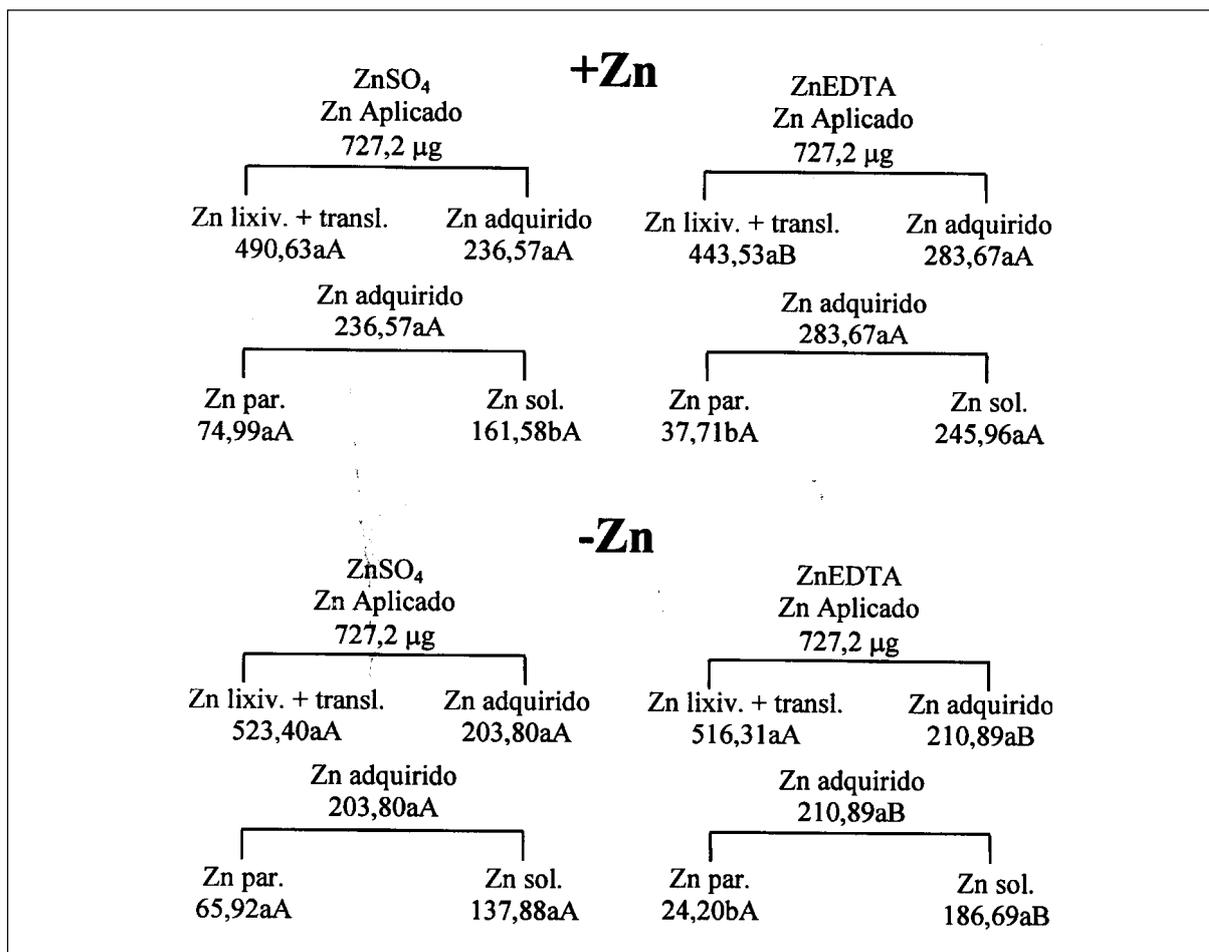


Figura 2 - Conteúdo (μg) de Zn translocado (transl.) e lixiviado (lixiv.), adquirido, retido na parede celular (Zn par.) e na fração solúvel (Zn sol.) de folhas medianas de plantas de feijoeiro, adequadamente nutridas (+Zn) e mal nutridas (-Zn), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA (Com base na matéria fresca). Letras maiúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos +Zn e -Zn na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Letras minúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos ZnSO₄ e ZnEDTA na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O conteúdo de Zn adquirido pela planta inteira foi superior para o feijoeiro em comparação ao cafeeiro (Figuras 4 e 5). Tal fato poderia ser explicado pela grande quantidade de pêlos (tricomas) existentes nas folhas dessa espécie, os quais são áreas de maior absorção (ROSOLEM, 1992). A cutícula mais cerosa 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 (Figura 3).

O estado nutricional das plantas afetou significativamente a aquisição e o transporte do Zn aplicado por via foliar em plantas de feijoeiro. Nas duas fontes de Zn, ZnSO₄ ou ZnEDTA, o Zn

adquirido por plantas bem nutridas foi significativamente superior ao adquirido por plantas mal nutridas (Figura 4). Essas observações condizem com os relatos de RICEAN & JONES (1958) e McGRATH & ROBSON (1984), os quais constataram maior translocação de Zn das 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 fontes de Zn pinceladas (Figura 5).

Sob condição de adequada nutrição em Zn, a aquisição deste micronutriente foi maior em plantas de feijoeiro e cafeeiro pinceladas com ZnSO₄, o que

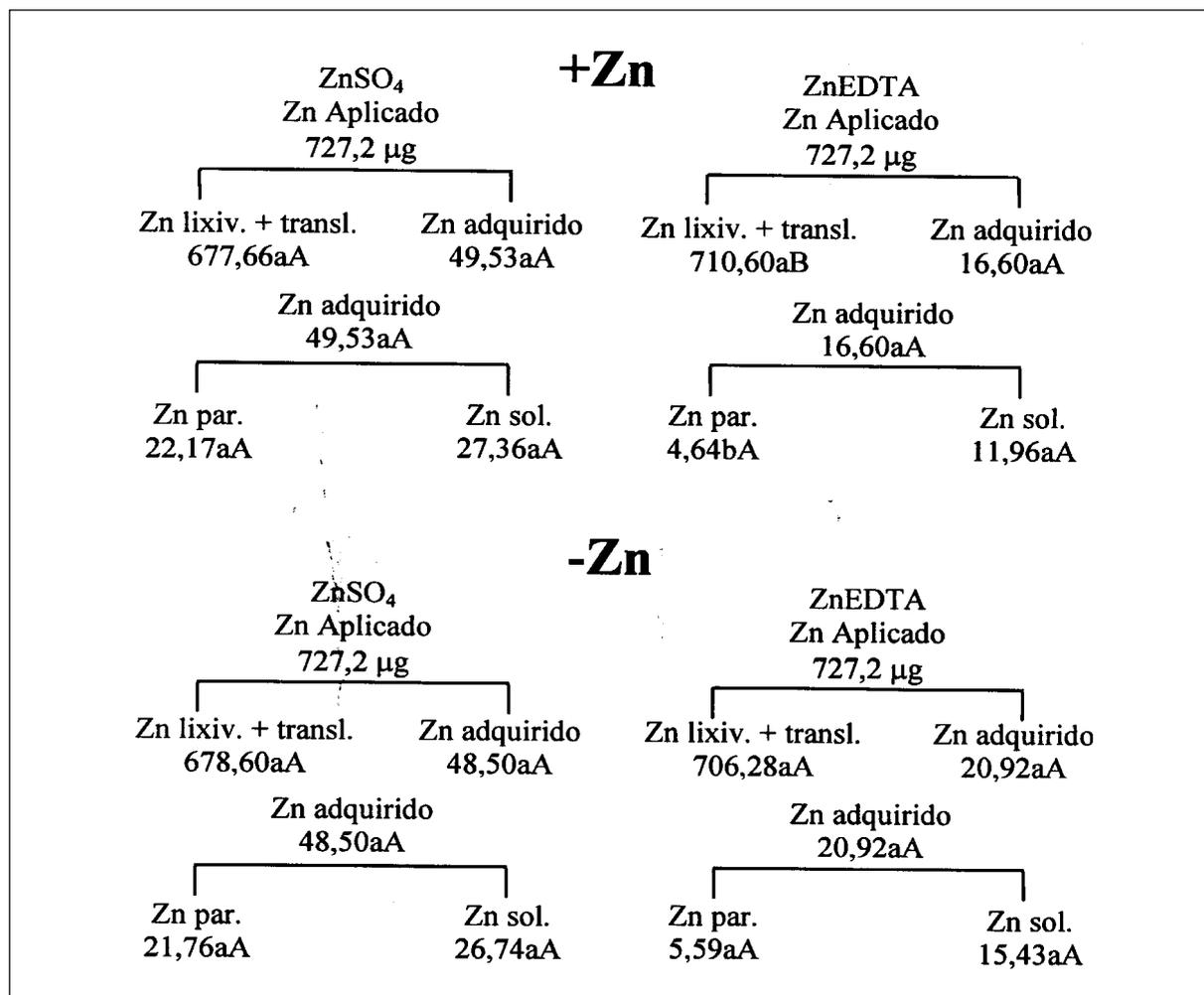


Figura 3 - Conteúdo (μg) de Zn translocado (transl.) e lixiviado (lixiv.), adquirido, retido na parede celular (Zn par.) e na fração solúvel (Zn sol.) de folhas medianas de mudas de cafeeiro, adequadamente nutridas (+Zn) e mal nutridas (-Zn), pinceladas com ZnSO_4 e ZnEDTA (Com base na matéria fresca).

Letras maiúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos +Zn e -Zn na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos ZnSO_4 e ZnEDTA na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

não ocorreu quando houve restrição no fornecimento de zinco na solução nutritiva (Figuras 4 e 5).

Quando se comparam as soluções de pincelamento, em condição de boa nutrição, as plantas de cafeeiro e de feijoeiro não apresentaram diferenças significativas quanto ao Zn translocado. Em condição de má nutrição, a translocação do Zn adquirido em ambas espécies foi menor com o uso de ZnSO_4 (Figuras 4 e 5), porém, sem diferença significativa entre as fontes de Zn pinceladas. Nesse sentido, RAMANI & KANNAN (1985), e FERRANDON & CHAMEL (1988) observaram maior mobilidade do ZnEDTA em relação ao ZnSO_4 , sendo que o aspecto

nutricional não foi abordado por esses autores.

A maior parte Zn translocado alojou-se na parte aérea em feijoeiro (Figura 4), independentemente do estado nutricional e da solução de pincelamento. No cafeeiro, houve também tendência de maior acúmulo de Zn na parte aérea, mas não em quantidades tão elevadas quanto no feijoeiro (Figura 5).

Tanto o pincelamento com ZnSO_4 e ZnEDTA quanto o estado nutricional das plantas não afetaram significativamente a translocação do Zn adquirido para parte aérea e raízes de cafeeiro. Já para feijoeiro, em boa condição de nutrição em Zn, houve maior acúmulo de Zn, na parte aérea e raiz, tanto para

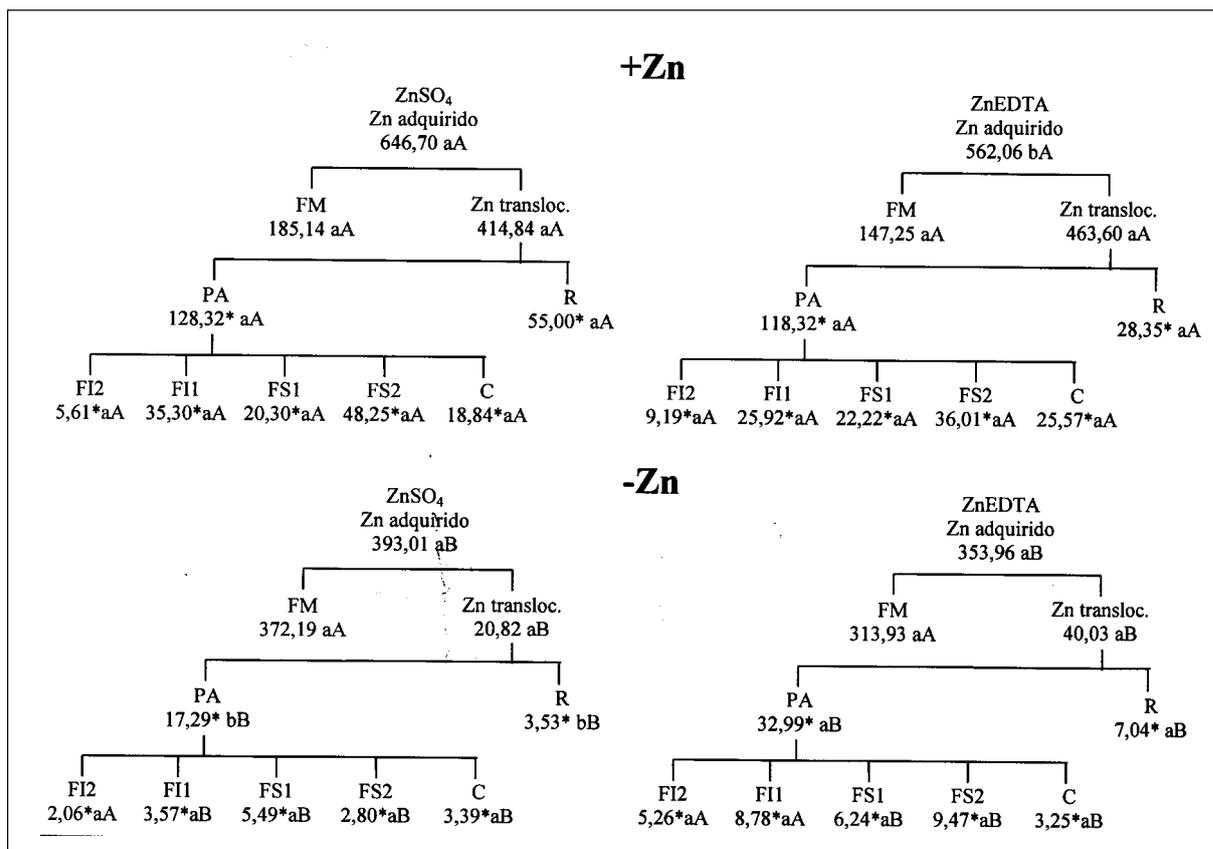


Figura 4 - Conteúdo (mg) de Zn adquirido na folha média (FM), translocado (Zn transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de plantas de feijoeiro, adequadamente nutridas (+Zn) e mal nutridas (-Zn), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA. (Com base na matéria fresca).

Letras maiúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos +Zn e -Zn na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos ZnSO₄ e ZnEDTA na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

* Dados transformados em $\sqrt{x+1}$

o pincelamento com ZnSO₄ quanto para ZnEDTA, sendo um reflexo da maior translocação em condição de boa nutrição (Figura 4). 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. Porém, 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 4).

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 4), exceto a FI2 no tratamento ZnSO₄ e as folhas FI1 e FI2 no tratamento ZnEDTA. Para todos os tratamentos, houve

maior acúmulo de Zn na porção superior que na inferior do feijoeiro, sendo que o maior acúmulo ocorreu na FS2, na maioria dos tratamentos, a qual corresponde ao ápice da planta (Figura 4). 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 (Figura 5). Esses dados condizem com as observações de LONGNECKER & 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.

Na parte aérea do cafeeiro, em todos os tratamentos, o caule foi o local de maior acúmulo de Zn (Fig. 5). PEARSON & RENGEL (1994) também

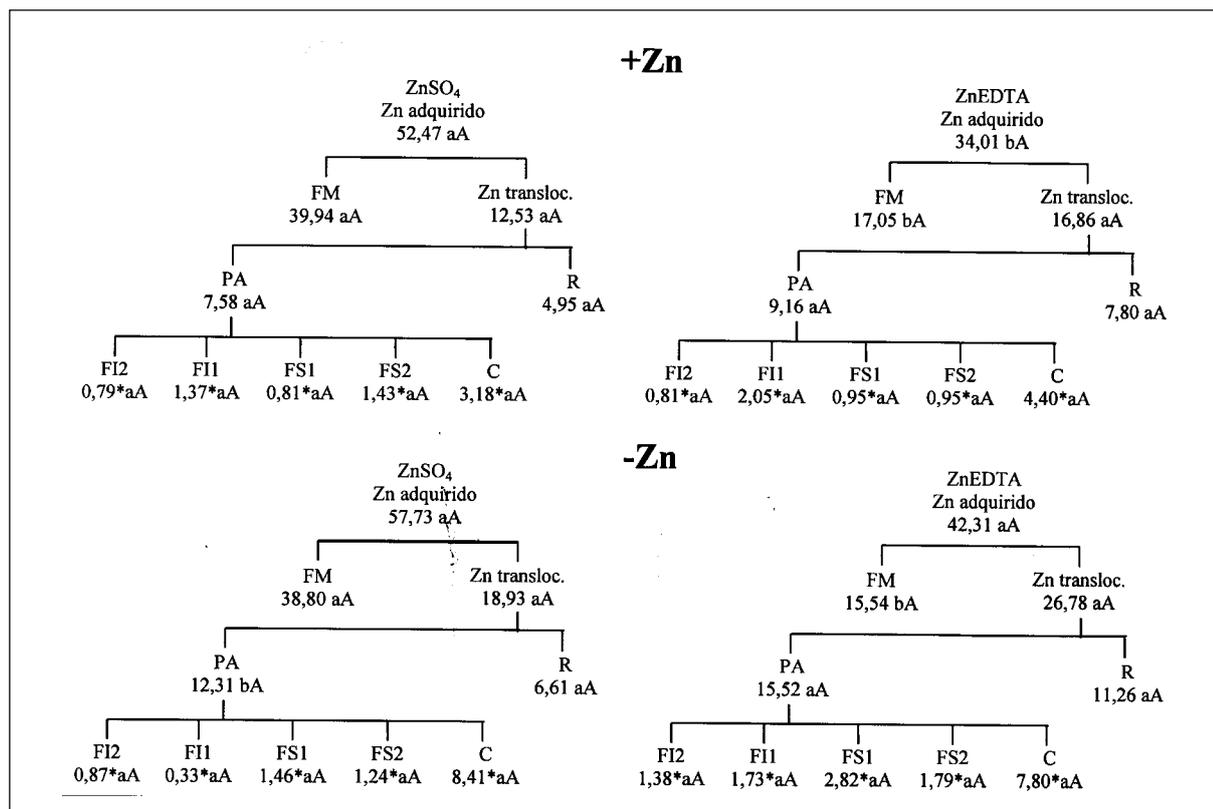


Figura 5 - Conteúdo (mg) de Zn adquirido na folha média (FM), translocado (Zn transloc.) na parte aérea (PA), na raiz (R), na folha inferior 2 (FI2), na folha inferior 1 (FI1), na folha superior 1 (FS1), na folha superior 2 (FS2) e no caule (C) de mudas de cafeeiro, adequadamente nutridas (+Zn) e mal nutridas (-Zn), pinceladas com ZnSO₄ e ZnEDTA. (Com base na matéria fresca).

Letras maiúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos +Zn e -Zn na vertical, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas expressam comparação entre médias de frações semelhantes nos tratamentos ZnSO₄ e ZnEDTA na horizontal, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

* Dados transformados em $\sqrt{x+1}$

observaram acúmulo de Zn no caule de plantas de trigo e PEARSON & RENGEL (1995), utilizando ⁶⁵Zn, também em trigo, observaram que grande proporção do ⁶⁵Zn acumulou-se na parte aérea, sendo a maior parte encontrada no caule. McGRATH & ROBSON (1984) relataram que a planta lenhosa *Pinus radiata* acumulou Zn no caule quando se adicionou ⁶⁵Zn na solução de crescimento e que o acúmulo de Zn foi maior em plantas crescidas com baixo suprimento deste elemento que naquelas crescidas com níveis adequados de Zn.

Quando se comparam as fontes de Zn pincelado, em cafeeiro crescido na ausência de Zn, observa-se a tendência de maior acúmulo de Zn no caule com o pincelamento com ZnSO₄, que com ZnEDTA (Figura 5), embora sem diferença significativa, indicando maior mobilidade do ZnEDTA no caule. Similarmente, McGRATH e & ROBSON

(1984) relataram que, ao compararem a absorção de ZnSO₄ com ZnEDTA, verificaram que o Zn aplicado na forma de ZnSO₄ moveu-se menos rapidamente através do caule de *Pinus radiata*, ocasionando um acúmulo de ⁶⁵Zn, e atribuem isso à maior retenção do Zn²⁺, dissociado do sulfato, pelas cargas existentes nos vasos condutores. Nesse sentido, PEARSON & 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. Corroborando esses resultados, MALTA et al. (2003) verificaram acúmulo de Zn na porção inferior do caule de mudas de cafeeiro em quantidades significativamente superiores as demais partes analisadas, ou seja, folhas (apicais e basais), caule apical e raiz, quando forneceram zinco via foliar na forma de ZnSO₄, independente da posição de aplicação (basal ou apical).

O feijoeiro acumulou mais Zn no caule em condição de boa nutrição em qualquer uma das formas de pincelamento (Figura 4). Esse fato demonstrou, muito mais, um efeito do estado nutricional que um acúmulo específico como no caso do cafeeiro.

CONCLUSÕES

Em ambas as espécies, o ZnSO₄ apresenta maior adsorção à parede celular das folhas que o ZnEDTA, demonstrando ser a retenção cuticular de Zn uma importante barreira à absorção foliar do elemento fornecido via ZnSO₄. O estado nutricional da planta apresenta efeito significativo na aquisição e translocação de Zn pelo feijoeiro, o que não ocorre com plantas de cafeeiro. Na ausência de suplementação de Zn, o ZnEDTA é significativamente mais eficiente em termos de translocação nas duas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOARETTO, A.E. Adubação foliar do cafeeiro. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CAFÉ, 2002, Campinas, SP. *Anais...* Campinas : IAC, 2002, 120p. p.27-73.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact morize roots. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, v.23, p.458-460, 1975.
- FÁVARO, J.R.A. **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio.** 1992. 91f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Curso de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.
- FERRANDON, M.; CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn, and Zn supplied in organic and inorganic form. *Journal of Plant Nutrition*, v.11, n.3, p.247-263, março, 1988.
- FONTES, R.L.F. **Purificação de soluções nutritivas para indução de deficiência de Zn e Cu em plantas.** 1986. 72f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.
- 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. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba : Potafos, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro – Absorção radicular de sais de zinco marcados com zinco radioativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia, SP. *Anais...* Rio de Janeiro : MA/PROCAFÉ, 1996. p.67-68.
- MALTA, M.R. et al. Absorção e translocação de zinco aplicado via foliar em mudas de cafeeiro. *Revista Ceres*, v.50, n.288, p.251-259, 2003.
- McGRATH, J.F.; ROBSON, A.D. The influence of zinc supply to seedlings of *Pinus radiata* D. Don. on the internal transport of recently absorbed zinc. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.11, n.3, p.165-178, 1984.
- MUNIZ, L.L.F. **Absorção de zinco em solos do Vale do Aço mineiro, afetada pela remoção de matéria orgânica, óxido de ferro e óxido de manganês.** 1995. 81f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.
- PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany*, v.45, n.281, 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. *Journal of Experimental Botany*, v.46, n.288, p.833-839, 1995.
- RAMANI, S.; KANNAN, S. Studies on translocation of zinc in bean plants: evidence for retranslocation during new growth. *Journal of Plant Nutrition*, v.121, p.313-318, 1985.
- RENA, A.B.; FÁVARO, J.A.R. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIN, L. (ed.). **Café, produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa : UFV, 2000. p.149-208.
- RICEMAN, 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. *Australian Journal of Agriculture Research*, v.9, n.1, p.73-122, 1958.
- ROSOLEM, C.A. Eficiência da adubação foliar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba, SP. *Anais...* Piracicaba : Fundação Cargill, 1992. p.315-351.
- 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.
- 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.