



---

ACUMULAÇÃO DE MATERIA SECA E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO  
CAFEEIRO (Coffea arabica L.) CV, CATUAI EM SOLUÇÃO NUTRI-  
TIVA COM DIFERENTES DOSES DE ZINCO E pH

ELBA LUCY DE FREITAS DONALD MOYSES

Orientador: Prof. Dr. José Renato Sarruge

Tese apresentada à Escola Superior  
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da  
Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor em  
Agronomia, Área de Concentração:  
**Solos** e Nutrição de Plantas.

---

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Junho - 1988

**i.**

Ao Roberto,  
meus pais e  
irmãos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Renato Sarruge,

Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira.

Ao Prof. Quirino Augusto de Camargo Camello.

Aos funcionários do Setor de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## SUMARIO

	Página
RESUMO .....	iv
SUMMARY .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISAO DE LITERATURA .....	3
2.1. - Absorção e redistribuição de nutrientes pelas plantas .....	3
2.2. - Composição química .....	14
2.3. - Função do zinco na planta .....	25
2.4. - Exigências do zinco pelo cafeeiro.	31
3. MATERIAL E METODOS .....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4.1. - Concentração de nutrientes na materia seca em função do pH e tra- tamento .....	38
4.1.1 - Concentração de nutrientes na matea seca nas folhas total do cafeeiro .....	54
4.1.2 - Concentração de nutrientes nos 30. e 40. pares de fo- lhas do cafeeiro .....	67

4.1.3	-Concentração de nutrientes nos ramos do cafeeiro .....	87
4.1.4	-Concentração de nutrientes nos caules do cafeeiro .....	103
4.2.	-Quantidade de nutrientes ex- traída pelas plantas. em função do pH e tratamento .....	113
5.	CONCLUSÕES .....	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	126

ACUMULAÇÃO DE MATERIA SECA E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO  
CAFEIEIRO (Coffea arabica L.) CV. CATUAI EM SOLUÇÃO NUTRI-  
TIVA COM DIFERENTES DOSES DE ZINCO E pH

Autora: ELBA LUCY DE FREITAS DONALD MOYSES

Orientador: PROF. DR. JOSE RENATO SARRUGE

**RESUMO**

Com o propósito de observar o efeito de doses crescentes de zinco em três valores de pH, sobre o desenvolvimento de plantas de café (Coffea arabica L.) cultivar Catuai, conduziu-se um experimento usando-se solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON, 1950, modificado por SARRUGE, 1975. As doses de zinco foram 0,05; 0,10 e 0,20 ppm, na forma de sulfato de zinco, os valores de pH foram: 4,5; 5,5 e 6,5.

As plantas foram coletadas e separadas em folhas do 30. e 40. pares, folhas total, ramos e caule.

Determinou-se a matéria seca, e as concentrações de nutrientes nas partes das plantas, em função das doses de zinco e do pH.

Conclui-se:

- **As** maiores variações na absorção em função dos tratamentos e do pH ocorreram nos **30.** e **40.** pares de folhas indicando serem estas partes as mais sensíveis às diferenças nutricionais.

- **O** pH da solução nutritiva interferiu na absorção total de zinco.

- **O** teor de zinco nos **30.** e **40.** pares de folhas é diretamente proporcional à concentração do zinco na solução nutritiva.

- **A** concentração de **P** nos **30.** e **40.** pares de folhas do cafeeiro é função quadrática crescente da aplicação de **Zn** no substrato, com valores máximos estimados de **0,205%** de **P** e **0,14** ppm de **Zn**,

- **A** quantidade de fósforo extraída pelo cafeeiro, diminui nos **30.** e **40.** pares de folhas quando a concentração de zinco aumenta na solução nutritiva, a partir de **0,13** ppm em pH **6,5**,

- **O** aumento da concentração do  $ZnSO_4$  na solução nutritiva aumenta **os** teores de **Ca** e **Fe** nos ramos <sup>4</sup> e da quantidade de **S** na planta toda.

- **O** aumento da concentração de zinco na solução nutritiva reduz **o** teor de **K** nos ramos.

vii.

- A absorção de boro é ascendente até 0,13 ppm de zinco na solução, decrescendo daí em diante.

ACUMULATION OF DRY MATTER AND NUTRIENTS UPTAKE BY COFFEE  
PLANTS (Coffea arabica L.) CV. CATUAI GROWING IN NUTRI-  
TIVE SOLUTION CONTAINING DIFFERENT LEVELS OF  
ZINC AT DIFFERENT pHs

Author: **ELBA** LUCY DE FREITAS DONALD MOYSES

Adviser: PROF. DR. **JOSE** RENATO SARRUGE

SUMMARY

The investigation of the effect of the HOAGLAND and ARNON nutritive solution, with modifications, containing crescent levels of zinc at different pH on the growth of coffee plants (Coffea arabica L.) CV. Catuai was carried out.

Zinc levels of 0,05, 0,10 and 0,20 ppm as zinc sulfate at pH of 4,5, 5,5 and 6,5 were used.

Dry weight and nutrients concentrations were evaluated on the third, and fourth pair of leaves, in the total of leaves, in the branches and in the shoot of hawested plants.

The relationship of the obtained results to the zinc levels and pHs indicated:

- a higher effect of the zinc level on the third and fourth pair of leaves suggesting these plant parts to be more sensitive to the tested deficiency nutrition.

- the pH of the nutritive solution did not affect of zinc uptake by the plants.

- the zinc content in the third and fourth pair of leaves was directly related to the zinc concentration in nutritive solution.

- the phosphorus concentration in the third and fourth pairs of leaves is a crescent quadratic equation of the zinc levels in the nutritive solution with the estimated maximum value occurring at 0,205% of phosphorus and 0,14 ppm of zinc.

- the iron content in third and fourth pair of leaves was also directly related to the zinc concentration in the nutritive solution.

- the increase on the zinc concentration of the nutritive solution caused an increase on the calcium and iron content and a decrease on the potassium content in the branches and an increase on the sulfur content in the whole plant.

- the amount of phosphorous taken up by the coffee plant is reduced at zinc concentration higher than 0,13 ppm in the nutritive solution.

- the uptake of boron increases until 0,13 ppm of zinc, but decreases after that.

## 1. INTRODUÇÃO

O café é a cultura mais difundida na faixa tropical, que criou mais riquezas, e que ainda vem contribuindo decisivamente, no nível social das populações rurais, exercendo, também, um papel fundamental na economia brasileira.

Em 1985, a produção cafeeira nacional contribuiu com 10,2% da receita com as exportações de café, o que corresponde a um valor de 2.619 bilhões de dólares (BRASIL, 1986).

A cultivar Catuai foi introduzida na década de 60, com grande valor econômico e com bom potencial de produção, hoje compondo grande proporção do parque cafeeiro dos principais Estados produtores, em áreas de cerrado com baixa fertilidade natural.

A produtividade dos cafezais brasileiros, por unidade de área ainda é baixa quando comparado com outras regiões cafeeiras do mundo. Esse menor rendimento

é devido a várias causas. MALAVOLTA (1980a) aponta entre elas, a falta de adubação e calagem; sendo que aos macronutrientes secundários e alguns micronutrientes não se tem dado a devida atenção nos programas de adubação.

Entre os micronutrientes, o zinco destaca-se pela deficiência no cafeeiro, praticamente em todas as regiões em que é cultivado. Nas lavouras da região do cerrado tem mostrado carencia de zinco mais severa e generalizada.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento das plantas em função das doses de zinco e do pH, através dos seus efeitos isolados e das possíveis interações. Foram estudados:

- desenvolvimento das plantas e partes das mesmas, através do peso da materia seca:
- absorção de macronutrientes e
- absorção de micronutrientes.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. - Absorção e redistribuição de nutrientes pelas plantas

O desenvolvimento de uma cultura é reflexo de varios fatores, dentre os quais a disponibilidade de nutrientes em quantidades suficientes que é de fundamental importância na sua produção final.

Os trabalhos sobre o papel dos elementos minerais na nutrição das plantas foram desenvolvidos por Lavoisier, Ingenhousz e Senebier (RUSSEL, 1927). Saussure, citado por CRAFTS (1961), estudando esses trabalhos anteriores, encontrou que os elementos minerais são incorporados pela planta como o carbono; evidenciou a essencialidade do nitrato para as plantas superiores e que o nitrogênio utilizado pelas plantas vinha do solo e não da atmosfera.

Ele indicou que as plantas absorvem muito mais água do solo do que suas exigências para o crescimento e que absorvem determinados elementos minerais do

**solo** não exigidos para o crescimento (elementos não essenciais); as plantas absorvem também minerais do solo em proporções diferentes de suas ocorrências na solução do **solo**.

A absorção radicular de sais minerais foi considerada durante muito tempo como um simples processo de difusão destes no **solo**. Atribuiu-se grande importância sobretudo à chamada corrente transpiratória, ou seja o movimento da Água do **solo** às raízes e destas ao longo do caule até as folhas, em virtude da evaporação contínua de Água na folhagem (MAXIMOV, 1946).

HOAGLAND (1937) concluiu que a acumulação de sais é dependente das atividades metabólicas das células das plantas, associada com a respiração e refletida na produção de  $CO_2$ .

2

ANSTEAD e PITTOCK (1913), foram os que deram início aos estudos com cafeeiro sobre a absorção de nutrientes pelos frutos, através da variação no conteúdo mineral das cerejas durante o desenvolvimento.

CHAVERRI et alii (1957), na Costa Rica estudando as variações mensais de nitrogênio nas folhas do 40. par em (Coffea arabica L.), observaram maior concentração no período de maior quantidade de chuvas.

LOUE (1958) observou maior absorção de nutrientes pelo cafeeiro no período de vegetação intensa: nesta época encontrou maiores teores foliares para o nitrogênio e fósforo; para o potássio encontra-se o máximo no período chuvoso e, para o cálcio, o teor foliar é máximo no período da seca.

Em Uganda, STEPHANS (1967) verificou que raramente foram encontradas correlações entre análises de solo e a produção de diversos ensaios conduzidos. Em todos os locais observados, verificou que o nitrogênio era o nutriente mais exigido pelo cafeeiro, ainda que em nenhum dos casos as produções correlacionaram positivamente de forma significativa com o carbono orgânico, com o N-total ou com a relação C/N.

As únicas análises que tiveram correlação significativa em mais de uma época foram o pH e o K-trocável. Em um dos locais, a produção relacionou positivamente com o pH em dois anos isolados, mas, nestes mesmos anos, em solos mais ácidos, esta relação não foi significativa.

O K-trocável correlacionou negativamente em dois locais, mas em outro, que possuía mais K no solo a correlação foi positiva.

CARVAJAL et alii (1969) constaram a absorção líquida dos macronutrientes com exceção do enxofre, por plantas de café (Coffea arabica var. Bourbon) durante um ciclo vegetativo e reprodutivo completo. A contribuição por parte dos nutrientes estudados ao total da absorção líquida, mostrou que o nitrogênio é o elemento quantitativamente mais importante na nutrição do café, seguido do potássio. O total absorvido por esses elementos minerais foi de 48 e 28%, respectivamente. Observaram ainda que cada nutriente está sujeito a um padrão de absorção diferente durante o ano.

ADUAYI (1970) afirma que uma nutrição balanceada do cafeeiro não pode ser realizada antes que as interações entre os vários nutrientes sejam estabelecidas, através dos estudos do sistema solo-planta, e que, para a manutenção de uma boa fertilidade do solo para o cafeeiro, a fim de se obter qualidade e altos rendimentos, necessita-se de um eficiente ajuste das doses de nutrientes e de seus métodos de aplicação.

No Brasil, coube a DAFERT (1895), os primeiros estudos sobre a nutrição do cafeeiro. Este pesquisador verificou a extração de nutrientes pela raiz, caule, ramos e frutos. Posteriormente CATANI e MORAES (1958), investigaram a composição química do cafeeiro de uma planta com cinco anos de idade.

CATANI et alii (1965, 1967a), continuando suas pesquisas sobre a nutrição do cafeeiro, investigaram as quantidades de macronutrientes e micronutrientes absorvidas pelo cafeeiro Var. Mundo Novo aos dez anos de idade.

ARZOLLA (1955) observou que a absorção do rádio-zinco, aplicado diretamente nas folhas de café, chegou a ser oito vezes mais intensa que no caso do fornecimento à solução nutritiva (radicular).

A aplicação na página inferior da folha foi mais eficiente; cerca de 40% do Zn aplicado foi absorvido. Arzolla et alii (1955-1956) verificaram que a absorção de zinco por cafeeiros não foi afetada pela variação na concentração de Fe na solução nutritiva no intervalo de 0 a 10 ppm, mas foi aproximadamente a metade pelo aumento na concentração de Mn de 0,5 para 5,0 ppm. Quando o Cu foi omitido, a absorção de Zn aumentou.

HAAG e SARRUGE (1967) estudando a absorção de Zn por raízes destacadas de cafeeiro, concluíram que o processo de absorção de zinco é um fenômeno metabólico, podendo ser inibido pela presença de venenos respiratórios. A presença de cálcio na concentração de 10 M teve efeito estimulatório na absorção de zinco.

a.

Desde muito tempo é conhecido que alguns nutrientes minerais se redistribuem nas plantas, movendo-se de folhas maduras para folhas jovens em crescimento e para o meristema apical. Assim, uma planta abundantemente alimentada com fósforo, pode posteriormente crescer até a maturidade, em solo deficiente de fósforo (CRAFTS e CRISP, 1971).

CRAFTS (1961), citando Marcellus Malpighi (1675, 1679), relata que as primeiras observações sobre o movimento ascendente e descendente das substâncias no caule através dos vasos, ocorrem no lenho e na casca. Após isso, muitos trabalhos foram realizados por pesquisadores tentando explicar o movimento de água e nutrientes dentro da planta. Os conhecimentos sobre o mecanismo do processo foram ampliados após as clássicas investigações de Hales em 1727 (MAXIMOV, 1946).

Segundo MITCHELL et alii (1960), o movimento do íon para baixo, ocorre após a aplicação de nitrogênio, fósforo, ferro, magnésio e alguns outros elementos à folhagem. Os íons podem também moverem-se para fora de uma determinada folha se a deficiência de um dado elemento desenvolve-se em outra parte da planta ou se a folha se torna velha. Evidências têm sido obtidas com compostos contendo elementos radioativos, indicando que o

movimento dos ions das folhas é via floema. Quando um ion chega ao caule, ele pode continuar movendo-se para cima ou para baixo no floema. Interessante, se dois ou mais ions são supridos à folha, seus movimentos no floema do caule podem ser em diferentes direções simultaneamente ou na mesma direção, mas em velocidades diferentes.

AVILAN (1971), estudando os níveis de alguns macronutrientes nas folhas de manga, durante o período de formação dos frutos, encontrou teores mais baixos dos elementos. Provavelmente houve redistribuição dos elementos das folhas para os frutos em crescimento.

Reuther et alii, citados por MALAVOLTA (1980), mostram o efeito da frutificação na composição mineral de laranjeiras. Os teores de N, P, K e Mg de ramos sem frutos foram sempre maiores que de ramos com frutos.

BUKOVAC e WITTWER (1957) estudaram a mobilidade de varios elementos minerais marcados, aplicados a folha de feijoeiro, e mostraram a seguinte classificação; Rubídio (Rb); Sódio (Na); Potássio (X); Fósforo (P); Cloro (Cl) e Enxofre (S): **são** elementos móveis, **os** micronutrientes, Ferro, Molibdênio, Zinco, Cobre e Manganês **são** parcialmente móveis e o Cálcio, é imóvel.

O Ferro geralmente é considerado imóvel nas

plantas, e, uma vez incorporado na folha, não será redistribuído para os tecidos jovens. Porém, em plantas cloróticas de *Sorghum vulgare*, foi pulverizado sulfato de ferro, e houve indicação de que há algum movimento: algumas das folhas novas anteriormente cloróticas tornaram-se verdes (CRAFTS e CRISP, 1971).

BROWN et alii (1965) concluíram que o ferro é parcialmente móvel em plantas novas, quando pulverizaram o Ferro<sup>59</sup> em folhas de plantas jovens de Sorgo, num tratamento por três dias. A concentração de Ferro<sup>59</sup> na ponta da raiz e folhas novas foi alta e nas folhas velhas foi baixa.

Estes resultados não são concordantes com Gile e Carrero (1916), citados por MENARD (1956), os quais verificaram a imobilidade do ferro na planta, considerando-o como elemento que não se redistribui.

McILRATH (1965), constatou a imobilidade do boro no floema em várias espécies de dicotiledôneas,

PEREIRA et alii (1963), estudaram a absorção e transformação de moléculas orgânicas e elementos minerais no cafeeiro, utilizando materiais radioativos, mostram entre outras algumas conclusões:

- o Cálcio<sup>45</sup> não é móvel no floema: é de

alta absorção pelas raízes. **As células** das folhas têm uma forte tendência a acumular e fixar cálcio;

- o Zinco <sup>65</sup> se move no café em menor proporção que em outras plantas:

- a absorção foliar do Fósforo <sup>32</sup> é lenta, altamente acumulado pelas raízes e de menor movimento que o cálcio em direção às folhas através do xilema.

MULLER (1959), analisando folhas de café de diversas idades em um mesmo ramo, verificou teores mais elevados de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas folhas mais novas. Concluiu que esses elementos são redistribuídos facilmente das folhas mais velhas aos frutos e provavelmente também às folhas mais novas. Este processo determina um esgotamento quase completo das folhas mais velhas.

Segundo HUERTA (1963), na época de produção os níveis de elementos na folha do cafeeiro são mais baixos por efeito da redistribuição das reservas das folhas até os frutos em crescimento.

A quantidade de nutrientes redistribuídos até os frutos se efetua na base das reservas acumuladas nas folhas diminuindo em consequência os níveis foliares. As reservas de nutrientes se redistribuem até os frutos a partir de todos os pares de folhas.

CANNEL e KIMEV (1971) constataram, em cafeeiros no Kenia, que as folhas novas, sempre que analisadas, apresentam níveis mais elevados em todos os nutrientes, exceto o cálcio que era mais rico nas folhas velhas.

SILVA e SILVA (1956), analisando folhas de café colhidas de ramos com frutos e ramos sem frutos, verificaram que as folhas de ramos sem frutos são mais ricas em nitrogênio, fósforo e potássio. Quanto ao cálcio e magnésio, foi constatado que as folhas de ramos sem frutos são mais pobres.

ARZOLLA et alii (1955-1956) verificou que 12% do zinco aplicado às folhas de café transloçou-se para baixo e para cima na planta.

MENARD e MALAVOLTA (1957), estudando a absorção e distribuição do fósforo radioativo no café, verificaram que a acumulação foi particularmente alta em raízes secundárias e nas partes velhas do caule. Folhas novas acumularam mais que as velhas e as nervuras e pecíolos se apresentaram mais ricos que as regiões internervais em  $P^{32}$ .

MALAVOLTA et alii (1959), estudando o modo de fornecimento de  $P^{32}$ , verificou que as folhas do ca-

o febreiro absorve o radiofósforo e que este transloca-se para outros órgãos da planta. Notou-se que as atividades/unidade de peso foram mais altas nos órgãos novos, isto é, o caule e as folhas acima ou apostas àquelas que receberam o fósforo radioativo. Isto significa que a translocação foi mais intensa para os tecidos metabolicamente ativos.

O desequilíbrio nas plantas entre o fósforo e o zinco é devido a distúrbios metabólicos nas células da planta, através da interferência do fósforo na função metabólica do zinco, é o que informam BAHIA e BRAGA (1974); BOAWN e LEGGET (1964) e MILLIKAN (1963).

Vários autores citam a precipitação do zinco com fósforo na superfície das raízes, como STUKENHOLTZ et alii (1966), ELLIS et alii (1964) e MOTSARA (1974).

LANGIN et alii (1962) relatam que há possibilidade do fósforo bloquear a absorção do zinco, e que a interação entre os dois nutrientes ocorre na superfície da raiz ou dentro dela.

Segundo MARTIN, McLEAN e QUICK (1965), STUKENHOLTZ et alii (1966), TERMAN, ALEN e BRADFORD (1966), a relação P: Zn nas plantas varia numa faixa

grande, razão pela qual não pode ser usada para uma indicação da disponibilidade de Zn, e nem para estabelecer valor crítico definido, indicativo de uma possível deficiência.

CHAVES (1982), trabalhando com folhas e frutos de café da var. Catuaí, durante um ciclo produtivo, constatou que ocorreu redistribuição de nutrientes tanto de folhas de ramos com frutos, quanto de folhas de ramos sem frutos.

A redistribuição de nitrogênio, fósforo, potássio e manganês foi mais acentuada na época de maior desenvolvimento dos frutos e para o nitrogênio e fósforo, ocorreu com maior intensidade das folhas de ramos com frutos.

## 2.2 - Composição Química do Cafeeiro

Vários trabalhos têm sido realizados com várias culturas, visando a determinação de sua composição química. Assim, podemos citar SARRUGE et alii (1963), com algodoeiro; BATAGLIA (1977), com frutos cítricos; TAKIDZE (1981), com laranjeira; SHEAR e SMITH (1969); ZEIGER e SHELTON (1969), com macieira; DROVER (1970), com cacaueteiro; AVILAN (1971), com mangueira; SOLORZANO e BORNEMISZA (1976), com mandioca; FERNANDES et alii (1977), com mara-

cujazeiro e CAHOON (1980), com videira.

Segundo MALAVOLTA (1974), o cafeeiro é uma planta que apresenta alta exigência em nutrientes minerais, e estas exigências aumentam segundo sua idade. Por volta dos três anos esta exigência duplica, o que deve ser quase exclusivamente no início da produção de frutos.

ANSTEAD e PITTOCK (1913), foram um dos primeiros que realizaram trabalhos com cafeeiro, os quais estudaram a composição química dos frutos de café durante o período de seu desenvolvimento.

CANNEL e KIMEV (1971), estudando a absorção e distribuição de macronutrientes em cafeeiros, verificaram que as folhas continham maior percentagem de nutrientes que o lenho e raízes, com duas exceções. Os ramos foram mais ricos em P que folhas velhas, e as raízes finas foram igualmente ricas em Mg.

FORESTIER e BELEY (1969), estudando os efeitos de alguns macronutrientes sobre a nutrição mineral e produtividade de cafeeiros robusta, verificaram que o N aumentou a produção e os teores foliares de N, o que baixou ou elevou os teores de K, Ca e Mg. Quanto aos micronutrientes, a adubação nitrogenada aumentou o teor de Mn, diminuiu de Fe, Cu e Mo.

Com relação à variação no teor dos elementos, em função da época, OMATOSO e OLOJOLA (1972), trabalhando com *Coffea canephora*, encontraram variação no teor foliar de macronutrientes durante o ciclo do cafeeiro.

BONNET (1969), trabalhando com cafeeiros da variedade "Caturra" e "Bourbon Vermelho" e amostrando folhas em duas épocas: ao final do verão e do inverno, constatou que no verão os teores foliares foram mais elevados para nitrogênio, potássio e magnésio. Teores semelhantes foram encontrados para fósforo e micronutrientes (manganês, ferro, boro, cobre e zinco) nas duas épocas. O teor de cálcio foi o mais elevado no inverno.

Segundo MULLER (1959), a composição de uma folha varia durante o processo de envelhecimento. Fazendo-se análises foliares consecutivas, com certos intervalos de tempo, os resultados mostraram que embora alguns nutrientes minerais aumentem em quantidade, conforme aumenta a idade da folha, outros diminuem. Os elementos cuja quantidade decresce com a idade são: nitrogênio, potássio, fósforo e às vezes o magnésio.

O grupo que aumenta o conteúdo com a idade da folha inclui o cálcio, enxofre, ferro, manganês, boro, zinco, cobre e molibdênio.

Os estudos sobre a composição química do

cafeeiro foram pesquisados no Brasil por DAFERT (1895). Este pesquisador estudou a composição da raiz, caule, ramos, folhas e frutos, assim como a distribuição percentual dos elementos potássio, cálcio, magnésio e fósforo em diversas partes do cafeeiro com 1, 2, 3, 4, 6, 10 e 40 anos de idade.

CATANI e MORAES (1958), estudando a composição química do cafeeiro, verificaram que houve uma variação periódica na concentração porcentual dos elementos analisados nas folhas. Em Janeiro a concentração dos diversos elementos foi mais elevada do que em Julho. Constitui exceção o cálcio, que não seguiu a mesma variação. Nos ramos e caule a variação na concentração dos elementos não foi tão pronunciada quanto a das folhas.

CATANI et alii (1967a), estudando a concentração e a quantidade de micronutrientes no cafeeiro, variedade Mundo Novo aos 10 anos de idade, concluíram que as folhas constituem a parte mais rica em micronutrientes e o tronco a mais pobre. A concentração dos micronutrientes boro, cloro, ferro, manganês, molibdênio, zinco e alumínio foi mais elevada nas folhas que nos frutos.

SARRUGE (1968), estudando o efeito das relações cálcio/boro e potássio/boro no desenvolvimento e sintomatologia do cafeeiro, cultivado em solução nutriti-

va, verificou que **os** teores de calcio nas soluções influíram nas concentrações de fósforo, calcio e magnésio na planta. Observou ainda, que o potássio afetou **os** teores de nitrogênio, potássio, calcio, magnésio e boro do cafeeiro.

Weinhold (1862), citado por HIROCE (1981), relatou a ideia do uso da análise química como um índice de disponibilidade de nutrientes no solo.

As informações encontradas na literatura a respeito do pH na cultura do cafeeiro, assim como em outras culturas de interesse econômico **são** contraditórias.

Entre **os** fatores externos que exercem efeito sobre a absorção foliar, o pH da solução aplicada se apresenta como um dos mais importantes.

De acordo com MALAVOLTA (1980), o processo de absorção é influenciado por vários fatores, dentre **os** quais se destaca o pH: a absorção é favorecida por um pH do meio entre 5 e 7, sendo consideravelmente diminuída em pH igual a 3. Conforme BLANCO (1970), o pH ideal para a absorção de zinco por células do mesófilo está em redor de 6. Existe ainda uma interação do zinco com diversos outros minerais em relação à absorção: o cobre e o ferro

inibem a absorção do zinco: o boro parece estimular a absorção pelas raízes, diminuindo-a pelas folhas: o cálcio em baixas concentrações promove maior absorção, inibindo-a em concentrações mais altas: o magnésio tem efeito inibidor mais acentuado do que o cálcio; e altos níveis de fósforo no meio causam diminuição na absorção do zinco.

**HAAG e SARRUGE (1965)** mostraram que, em soluções com pH 5,0, o Zn é absorvido em maior quantidade por raízes destacadas de cafeeiro.

No Ceilão foi realizado um estudo de nutrição para assinalar o melhor pH no desenvolvimento de plantas de café, onde cresceram em locais cujo pH se manteve em 4,2 e 5,1, Os quais demonstraram ser mais vigorosos e de melhor aparência dos que cresceram num meio cujo pH era de 5,1 e menor que 4,2, (PEREZ-ESCOLAR, 1957).

4

**ARNON e JOHNSON (1942)**, estudando o efeito direto do pH em plantas de alface, grama das Bermudas e tomateiro, em soluções nutritivas nas quais o pH variava entre 3 e 9, chegaram às seguintes conclusões:

- houve acentuada diminuição no crescimento nos valores de pH 3 e 9:

- houve pequeno efeito direto na concentra-

ção hidrogeniônica na faixa de pH 4 a 7;

- não houve nenhum pH ótimo definido para as três plantas;

- o crescimento máximo ocorreu quando o pH da solução foi mantido entre 6 e 6,5.

As informações sobre o efeito do pH na absorção de zinco pelas plantas são insatisfatórias. BOWEN (1969) informa que o pH ótimo para absorção de zinco por folhas de cana-de-açúcar está entre 5 e 6. WEAR (1956) mostrou que a redução na absorção de Zn pelo sorgo foi devido a um efeito direto do pH, e não à presença de Ca.

CHAUDHRY e LONERAGAN (1927b) mostraram que quando o pH baixava de 7 a 3 o fornecimento de  $\text{Ca}^{2+}$  em concentrações crescentes provocava grande diminuição na absorção de Zn por plântulas de trigo.

A redução no teor de Zn pelo calcário tem sido explicada como devida a uma redução na disponibilidade de Zn do solo. LOTT (1938) observou que o efeito tóxico do Zn às plantas de aveia era eliminado progressivamente com a aplicação de quantidades crescentes de calcário, não se observando mais esse efeito quando o pH do solo atingia o valor de 6.

**STANTON** e **BURGER (1970)** também verificaram a redução da disponibilidade de  $Zn$ , que era grande até o solo atingir o pH de 6,5 e pequena com o incremento posterior do pH. Estes pesquisadores encontraram uma significativa diminuição na concentração de  $Zn$  pelo P, sendo o efeito mais marcado quando o pH do solo era de 6,5.

**MEVER, LUDWICK e KUSSOW (1971)** estudaram o efeito da calagem e da aplicação de P em solos do sul do Brasil. Verificaram que a calagem teve um efeito depressivo na absorção de zinco e que a deficiência deste nutriente ocorreu a partir de pH 6,5, independente da aplicação de fósforo.

**LINDSAY (1973)** mostrou que as espécies de zinco predominantes em solos de pH abaixo de 7,7 é o  $Zn^{2+}$  e para valores de pH altos, o hidróxido de zinco neutro,  $Zn(OH)_2$ . A grande influência do pH na solubilidade do zinco é indicada pelo fato de que a atividade do zinco nas soluções em condições de equilíbrio diminui cem vezes para cada unidade de pH aumentada.

De acordo com **BRAGA (1980)**, o zinco da solução do solo pode estar na forma de íon simples, em pH abaixo de 6, na forma de óxido, em pH igual ou maior que 6, e na forma de zinatos, em pH igual ou superior a

7,7, com a disponibilidade diminuindo à medida que o pH se eleva.

MALAVOLTA (1967) informou num levantamento da produtividade de cafeeiros do Norte do Paraná, que os mais produtivos encontravam-se com frequência em solos cujo pH estava entre 6,0 e 7,0. O mesmo se verificou em cafezais no cerrado do Sul de Minas Gerais.

O movimento descendente do zinco e, conseqüentemente, sua disponibilidade para as raízes são regulados por varios fatores dentre os quais está o pH.

Existe uma relação inversa entre o pH do solo e o zinco extraível (CHANDLER, 1937; PEECH, 1941; ROGERS et alii, 1948 e STEWART, 1963), e essa relação tem sido atribuída por JURINAK e BAUER (1956), à adsorção do zinco sobre cristais de calcita e, por WEAR (1956), ao verdadeiro efeito do pH, que é função de diferenças na solubilidade das várias formas de zinco dependentes de pH que ocorrem no solo (ELGABALY e JENNY, 1943; JURINAK e THORNE, 1955; NELSON e MELSTED, 1955 e PEECH, 1941). A concentração de zinco na solução é diminuída de forma tão acentuada com o aumento do pH do solo de 4 para 7 que ROESCH (1979), o considera como fator mais importante na adsorção de zinco nos solos. Em função disso, como a maioria dos micronutrientes, o zinco é geralmente mais

disponível para as plantas em solos ácidos do que em solos alcalinos. Em outros casos, porém, como observaram SHAW e DEAN (1960) aparentemente reduzem a fixação de zinco disponível para as plantas.

Com relação ao efeito do pH sobre a mobilidade do zinco através do perfil do solo, HOROWITZ e DANTAS (1973) verificaram que o zinco é imóvel em solos de pH elevado e muito móvel em solos de pH igual ou menor do que 5,0.

Com relação à disponibilidade de zinco no solo, há autores que verificaram diminuição nesta disponibilidade, tais como BOAWN et alii (1960) os quais citam que essa diminuição era devida ao aumento do pH, provocado por fertilizantes nitrogenados, embora tal efeito variasse com a cultura utilizada; VIETS et alii (1957), também citam o efeito do pH.

Quanto ao aumento na disponibilidade, GIOR-DANO et alii (1966), STANTON e BURGER (1970) e CHAUDHRY et alii (1974) citam o efeito do pH, devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados ácidos.

Para a absorção de zinco pelas plantas, REUTHER e SMITH (1950) e VIETS et alii (1957) concluíram que o nitrogênio pode induzir ou acentuar a deficiência de zinco em plantas, devido ao seu maior desenvolvimento:

OZANNE (1955) cita que o zinco absorvido pode ficar retido nas raízes como complexo Zn-proteína, dificultando assim, a translocação do mesmo para a parte aérea.

Nos solos, os efeitos prejudiciais da acidez são indiretos, na grande maioria induzindo a uma série de condições desfavoráveis às culturas. A disponibilidade de nutrientes é um desses efeitos que é sensivelmente afetada pelas variações de pH, sendo que de um modo geral, a variação de pH entre 5,5 e 6,5 é a que reúne maior soma de condições favoráveis a essa disponibilidade (TRUOG, 1948; THORNE e SEATZ, 1963; PRATT, 1966; BUCKMAN e BRADY, 1966; MALAVOLTA, 1967 e WUTKE, 1972).

O efeito mais direto do pH sobre o cafeeiro foi inicialmente estudado por CAMARGO et alii (1936) cultivando a variedade Bourbon em solução nutritiva na faixa de 4,2 e 7,2. Concluíram os referidos autores que a faixa mais apropriada para o cafeeiro seria a de 4,2 a 5,1.

CARVAJAL et alii (1963) cultivaram cafeeiros em solução nutritiva numa faixa de pH de 4,0 a 7,5 e concluíram que a melhor faixa de pH para o cafeeiro é de 6,5 a 7,5.

Tem sido comprovado que o café cresce em

solos que possuem um pH entre 5,0 e 7,0, porém o ideal é na faixa de 6,0. Na Índia o café se desenvolve melhor na faixa de pH entre 6,0 e 6,5. A acidez do terreno inibe o bom crescimento do café e favorece o aumento de uma microflora que afeta as raízes causando doenças (CHOKKANNA, 1965).

AMORIM et alii (1968), estudando o efeito da variação do pH de 4,0 a 7,5 no desenvolvimento e composição química do cafeeiro (Coffea arabica L., var. Mundo Novo) cultivado em solução nutritiva, concluíram que a absorção de macronutrientes diminuiu com o aumento do pH, sendo que a melhor faixa para o crescimento em altura, número de folhas, peso da matéria fresca e seca foi a de 4,0 a 6,0.

### 2.3. - Função do zinco na planta

Segundo MALAVOLTA (1976) a absorção do zinco pela planta se dá de forma iônica ( $Zn^{2+}$ ), e o seu transporte ascendente no xilema parece ser também nesta forma, devido a baixa estabilidade do complexo Zn-citrato. Este autor informa que apesar dos sintomas de deficiência de zinco se manifestarem primeiro nas folhas mais novas, o  $Zn^{2+}$  é transportado no floema quando aplicado nas folhas e redistribui-se por outras partes chegando às raízes. Isto indica que o fluido do xilema não está

fixamente estável, em alguns casos a translocação do Zn<sup>2+</sup> dentro da planta pode ser facilitada, deslocando-se de órgãos vegetativos e acumulando-se nas sementes. Sob certas condições o zinco se localiza no citoplasma das células das plantas, conforme citam ERNST e WEINER (1972) que estudaram a distribuição intra-celular do zinco e verificaram que mais de 50% do total se acumulou no vacúolo e 10% na parede celular.

EPSTEIN (1975), descrevendo os sintomas da deficiência de zinco, diz que a ausência do zinco causa um impacto no crescimento vegetal, provocando um encurtamento dos internódios e fazendo com que as folhas dos diversos nós fiquem muito próximas uma das outras e no mesmo plano, assemelhando-se a uma roseta. Esclarece que a sua acentuada influência no crescimento vegetal é devida ao seu papel ao nível de auxina.

A concentração da auxina (ácido indolacético) nos tecidos deficientes de zinco cai antes do aparecimento de sintomas visíveis.

Segundo SPILLER e TERRY (1974) a deficiência de zinco mesmo em seu estágio inicial, retarda a divisão celular e o acúmulo de matéria seca nas folhas.

A deficiência de zinco pode afetar direta

ou indiretamente o metabolismo do cafeeiro. ANANTH et alii (1965), estudando a deficiência de zinco em cafezais do sul da Índia, informam que a espécie Arábica é mais susceptível que a Robusta. Segundo estes autores a deficiência de zinco cessa a atividade meristemática na extremidade das raízes, causa a acumulação de material fenólico e tanínico, retarda a formação do triptofano e inibe a multiplicação celular na região apical.

O zinco é responsável direto pela síntese de triptofano, um precursor da auxina (ácido indolacético), e indireto pela síntese de proteínas, conforme TSUI (1948). Na ausência de zinco, o triptofano estimula a formação de calosidades nos tecidos vegetais (KUPPER et alii 1979).

RAMAIAH et alii (1964), estudando as alterações no cafeeiro pela ausência do zinco, relatam que os cafeeiros deficientes apresentaram uma acumulação da maioria dos aminoácidos, mesmo em folhas com pequena deficiência. A ausência do zinco interfere no mecanismo de transformação de aminoácidos em proteínas nos seus processos enzimáticos, resultando em baixa síntese de proteínas e no acúmulo de aminoácidos livres: a acumulação de aminoácidos livres a níveis tóxicos resulta na deformação das folhas deficientes.

O zinco participa do metabolismo vegetal por meio de enzimas como a anidrase carbônica que dela depende para atuar (MITH, 1975) ou como componente essencial de desidrogenases, peptidases e proteinases (Valbe e Wacker, 1970 citados por PRICE et alii, 1973). A síntese do triptofano, precursor do ácido indolacético, é outro processo dependente do zinco, existindo evidências, de que o elemento atua no metabolismo do nitrogênio (MALAVOLTA, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1982).

As informações encontradas na literatura, a respeito do mecanismo de absorção de zinco pelas plantas e do modo pelo qual fatores do meio influenciam o processo em questão, são conflitantes.

O zinco é absorvido pelas raízes das plantas na forma de cátion ou como parte de quelatos, sendo também possível sua absorção pelas folhas nas mesmas formas. Existe, porém, grande controvérsia em relação ao fato dessa absorção ser um processo passivo (GUTKNECHET, 1961-1963); RATHORE et alii, 1970; ou ativo, AMBLER et alii (1970); BOWEN, 1969; SCHIMID et alii, 1974 e TIFFIN, 1967).

Segundo LINDSAY (1972), essa controvérsia existe em função da dificuldade de se distinguir a absor-

ção passiva da ativa nas células.

O conceito de uma absorção ativa, a expensas da energia fornecida através do metabolismo, tem sido aplicado também ao zinco por SCHMID, HAAG e EPSTEIN (1965) e por HAAG e SARRUGE (1965). Não obstante, BRODA (1965) e RATHORE et alii (1970) apresentaram provas de que a absorção de zinco ocorre principalmente mediante um processo passivo, preferencialmente pela troca iônica.

AMBLER et alii (1970) e TIFFIN (1967) afirmam que o zinco tem sido detectado no exsudado do xilema em concentrações mais altas que as da solução do solo, mas MENGEL e KIRKBY (1978) observaram que a forma na qual o zinco é transportado das raízes para a parte aérea não é conhecida. Entretanto, segundo MALAVOLTA (1980), no interior dos vasos do xilema o zinco ocorre principalmente como cátion, devido à baixa estabilidade do complexo Zn-citrato. Segundo RINNE e LANGSTON (1960), em folhas velhas o zinco torna-se praticamente imóvel, apresentando, conforme MENGEL e KIRKBY (1978), uma pequena mobilidade na planta.

MENGEL e KIRKBY (1978) verificaram que o zinco normalmente acumula-se nos tecidos da raiz, especialmente quando o suprimento é grande, mas CARROL e LONERAGAN (1968) afirmam que essa retenção de quantidades

excessivas de zinco pelas raízes só ocorre quando o suprimento é adequado: se as plantas estiverem sujeitas à condição de deficiência, grande parte do zinco acumulado nas raízes é redistribuída e utilizada pelas partes aéreas.

Segundo VALENCIA (1968), a deficiência de zinco provoca acumulação de asparagina, ácido succínico, ácido málico e de ácido isocitríco que são produzidos e não consumidos, entretanto não ocorre alteração nos teores de açúcares.

LUCAS e KNEZEK (1972) informam ainda que com baixas temperaturas pode haver diminuição na disponibilidade do zinco, e que o aumento na duração do período de iluminação ou na intensidade luminosa provoca elevação nas necessidades de zinco da planta.

#### 2.4 - Exigências de zinco pelo cafeeiro

De acordo com LINDSAY (1972), espécies e mesmo variedades de plantas diferem grandemente entre si em relação à habilidade em acumular zinco, e essa diferença tem grande importância na determinação da susceptibilidade, de determinada cultura, à deficiência de zinco. MALAVOLTA (1980) comenta que o cafeeiro parece possuir uma susceptibilidade especial a uma baixa concentração de

zinco no solo, como uma planta pouco eficiente na absorção do zinco no solo.

GALLO et alii (1970), em um levantamento de cafezais no Estado de São Paulo pela análise foliar, encontraram os teores médios de zinco para as folhas, ressaltando a importância da época de amostragem: no verão, 13,9 ppm; no outono, 10,2 ppm e na primavera, 61,2 ppm.

CATANI et alii (1967a) apresentaram os resultados obtidos sobre a concentração e quantidade de zinco, em café variedade Mundo Novo, e observaram que as folhas são os órgãos mais ricos em zinco, com teores variando entre 15 e 21 ppm.

LOTT et alii (1961) citam que LOUE (1951), trabalhando com Coffea arabica na Costa do Marfim, encontrou nas condições de campo de 9 a 29 ppm nas folhas do cafeeiro.

O teor de zinco encontrado normalmente nas folhas está diretamente relacionado ao conceito de nível crítico de zinco na folha do cafeeiro, pois, segundo MULLER (1958), nível crítico na folha, para um determinado elemento, & o teor abaixo do qual aparecem sintomas visíveis de deficiências. Porém, MALAVOLTA et alii (1974) definem nível crítico como um valor abaixo do qual a

produção é limitada pela falta do mesmo e acima do qual a sua aplicação é economicamente inviável. Em função disso, mesmo que não apresente sintomas visíveis de deficiência o cafeeiro pode estar com um teor de zinco abaixo do nível crítico.

Em função da região estudada, a determinação de um valor definitivo para que se possa aproximar do nível crítico real exige maiores conhecimentos, já que existe uma diversidade muito grande entre os autores, dos valores existentes. MALAVOLTA et alii (1961), trabalhando com solução nutritiva, encontrou 3 ppm nas folhas para soluções com baixo teor de zinco e de 7 a 10 ppm para as soluções com teores adequados, enquanto HAAG et alii (1969) consideram como adequados também em solução nutritiva, os teores situados entre 15 e 25 ppm. CULOT et alii (1958) acreditam que teores de 15 a 20 ppm podem ser considerados baixos para o café arábica na África, enquanto que, segundo MULLER (1958), valores entre 7 e 10 ppm podem diminuir a produção e causar a morte prematura de cafeeiros na Costa Rica.

LOTT et alii (1961) realizaram um levantamento do estado nutricional dos cafezais dos Estados de São Paulo e Paraná, por meio de diagnose foliar, encontrando teor de 8 ppm, o que consideram como um valor

próximo do nível crítico. BRASIL MINISTERIO DA INDÚSTRIA E COMERCIO (1974) considera 10 ppm de zinco na folha do cafeeiro como o teor mais aproximado do nível crítico.

SILVA (1979) observou que teores de zinco nas folhas acima de 23 ppm podem ser considerados excessivos, pois prejudicam a produção e que teores de 40,8 ppm apresentaram, além de produções baixas, sintomas visíveis de anormalidade fisiológica no cafeeiro.

SARRUGE et alii (1963), estudando os teores de micronutrientes na casca e em grãos de café das variedades "Mundo Novo", "Caturra Amarelo" e "Bourbon Amarelo", concluíram que não existe variação entre elas para os elementos estudados (B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn).

PAULA (1975), fazendo aplicações de soluções a 0,5%, 1% e 1,5% de sulfato de zinco, em *Coffea arabica* L. variedade Mundo Novo, r relação linear entre o nível de zinco aplicado e o teor na folha, não podendo recomendar níveis ótimos.

### 3. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Química na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" nos anos de 1985 a 1986.

As mudas de café da variedade Catuai Vermelho produzidas com sementes do ano 83/84 foram adquiridas do viveiro do Departamento de Agricultura, e foram levadas para a casa de vegetação para aclimatarem-se.

Após uma semana as mudas foram retiradas do saco plástico, com o segundo par de folhas completamente desenvolvido, foram selecionadas e após as raízes terem sido lavadas com água destilada para eliminar os resíduos do substrato, foram transplantadas, uma por vaso, com capacidade de 10 litros, estes revestidos internamente com saco plástico, contendo sílica.

As plantas inicialmente foram irrigadas com solução nutritiva completa, segundo HOAGLAND e ARNON (1950) modificado por Sarruge & Haag (1975), diluída na

proporção de 1:1 e renovada a cada 7 dias.

Com a finalidade de propiciar um crescimento rápido das mudas, passou-se a usar a solução nutritiva completa menos Zn, sendo a mesma renovada a cada 15 dias, até que as plantas apresentassem um bom crescimento vegetativo.

Quando as plantas atingiram aproximadamente 50 cm de altura, passou-se água destilada em abundância no interior dos recipientes, visando remover os nutrientes retidos na sílica e deu-se início aos tratamentos.

O experimento constou de nove tratamentos com quatro repetições cada, seguindo um delineamento fatorial, sem casualização das repetições. Partindo-se da solução nutritiva completa menos Zn, adicionou-se as seguintes quantidades da solução estoque de 25 ppm de zinco ( $ZnSO_4$ ): 2,4 e 8 ml/l de solução final fazendo-se assim as soluções com 0,05; 0,10 e 0,20 ppm de zinco.

Cada uma destas soluções sofreu após divisões em três lotes, ajuste do pH da mesma a 4,5; 5,5 e 6,5 mediante adição de HCL 0,1 N e NaOH 0,1 N.

As plantas eram irrigadas três vezes ao dia, sendo que no período em que ocorriam temperaturas mais elevadas era necessário dobrar as irrigações para

manter a umidade da sílica e evitar o murchamento das plantas devido ao aumento da transpiração.

A drenagem das soluções era feita através de orifícios no fundo de cada recipiente ligados com tubos plásticos aos frascos coletores com capacidade de um litro.

As soluções nutritivas eram renovadas a cada 15 dias. O nível da solução nos frascos coletores era verificado diariamente, completando-se o volume a 1 litro, pela adição de água desmineralizada até a época de cada renovação.

No momento em que os primeiros frutos com aproximadamente dois anos de idade atingiram o ponto de cereja iniciou-se a colheita.

Após serem submetidas a uma lavagem rápida com água destilada, cada planta colhida foi amostrada em folhas do 30. e 40. pares, folhas total, ramos, caule e raiz.

O material separado foi posto para secar em estufa com circulação de ar com temperatura variando de  $70^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$ , até atingir peso constante.

Depois de seco o material, foi determinado o peso da matéria seca. Posteriormente o material foi

móido em moinho tipo Wiley, com peneira de malha 20.

Em seguida o material vegetal foi encaminhado para análise química dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Mn, Fe, Cu, B e Zn), de acordo com os métodos descritos por SARRUGE e HAAG (1974).

As análises estatísticas foram feitas segundo PIMENTEL GOMES, (1973).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 - Concentração de Nutrientes na Materia seca em Função do pH e Tratamento

As médias da produção de materia seca total, dos teores, extração e os dados da análise de variância da concentração e extração total dos macronutrientes e micronutrientes das folhas, do 30. e 40. pares, ramos e caules são apresentadas respectivamente nas tabelas de 1 a 4, 5, 6 a 9, 10 a 13, 14 e 15.

Tabela 1 - Média da produção de matéria seca total (g) e teores de macro (%) e micronutrientes (ppm) das folhas do cafeeiro.

pH	TRAT	M.S. g	N	P	K %	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn ppm	B
4,5	0,05	50,42	3,16	0,22	2,37	1,35	0,39	0,24	133	75	12	29
	0,10	66,80	3,44	0,24	2,41	1,25	0,37	0,32	118	72	11	16
	0,20	58,10	3,17	0,24	2,46	1,26	0,36	0,26	118	63	9	26
5,5	0,05	51,60	3,54	0,23	2,67	1,33	0,40	0,25	106	52	14	29
	0,10	48,82	3,47	0,23	2,61	1,27	0,38	0,31	91	78	9	25
	0,20	61,37	3,20	0,25	2,31	1,28	0,35	0,30	101	78	11	24
6,5	0,05	39,87	3,81	0,22	2,64	1,34	0,39	0,26	86	63	10	23
	0,10	65,0	2,94	0,24	2,23	1,32	0,37	0,24	113	57	10	25
	0,20	56,82	3,30	0,21	2,25	1,24	0,34	0,25	111	58	10	27

Tabela 2 - Média de produção de matéria seca total (g) e teores de macro (%) e micronutrientes (ppm) das folhas do 30. e 40. pares do cafeeiro.

pH	TRAT	M.S. g	N	P	K %	Ca	Mg	S	Fe	Mn ppm	Zn	B
4,5	0,05	24,7	4,37	0,15	2,10	1,35	0,4	0,26	91	63	9	28
	0,10	24,8	3,11	0,18	1,95	1,19	0,39	0,33	92	76	10	79
	0,20	25,95	3,35	0,19	2,12	1,27	0,35	0,34	71	54	12	45
5,5	0,05	23,77	3,67	0,18	2,30	1,30	0,40	0,28	73	41	9	31
	0,10	22,65	3,56	0,20	2,33	1,21	0,41	0,31	80	71	9	57
	0,20	25,62	3,03	0,21	2,41	1,30	0,46	0,29	82	79	12	53
6,5	0,05	18,2	3,82	0,14	2,23	1,20	0,38	0,19	45	33	9	37
	0,10	30,4	2,92	0,20	1,83	1,24	0,37	0,23	80	69	10	56
	0,20	18,47	3,17	0,17	2,25	1,12	0,40	0,27	86	48	11	38

Tabela 3 - Média da produção de matéria seca total (g) e teores de macro (%) e micronutrientes (ppm) dos ramos do cafeeiro.

pH	TRAT	M.S. g	N	P	K %	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B
										ppm		
4,5	0,05	26,25	1,42	0,21	2,06	0,52	0,31	0,3	60	18	95	20
	0,10	34,37	1,50	0,19	1,70	0,62	0,28	0,21	71	35	92	24
	0,20	33,35	1,11	0,20	1,62	0,68	0,33	0,24	81	36	72	23
5,5	0,05	26,72	1,33	0,24	2,52	0,63	0,38	0,26	60	23	82	27
	0,10	34,37	1,6	0,25	2,10	0,60	0,32	0,23	67	50	115	28
	0,20	30,72	1,58	0,21	1,85	0,75	0,36	0,23	85	45	82	20
6,5	0,05	20,75	1,64	0,23	2,06	0,61	0,35	0,19	65	19	84	27
	0,10	48,12	1,30	0,24	1,93	0,77	0,37	0,20	81	51	72	25
	0,20	34,50	1,60	0,19	1,76	0,75	0,38	0,28	89	29	71	19

Tabela 4 - Média da produção de matéria seca total (g) e teores de macro (%) e micronutrientes (ppm) dos caules do cafeeiro.

pH	TRAT	M.S. g	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cl
					%					ppm		
4,5	0,05	26,65	1,03	0,07	0,78	0,43	0,10	0,22	63	5	14	13
	0,10	37,47	1,20	0,07	0,9	0,47	0,10	0,12	67	9	16	11
	0,20	34,67	1,02	0,08	1,05	0,52	0,12	0,18	64	18	19	13
5,5	0,05	24,07	0,98	0,06	0,72	0,46	0,11	0,24	68	5	14	12
	0,10	24,27	1,11	0,08	0,9	0,57	0,12	0,12	61	20	22	13
	0,20	34,67	1,01	0,08	1,05	0,52	0,12	0,18	61	18	19	14
6,5	0,05	21,17	1,18	0,06	0,86	0,42	0,12	0,09	57	5	12	15
	0,10	41,87	1,00	0,08	0,82	0,44	0,09	0,17	46	9	14	13
	0,20	31,40	1,08	0,05	0,76	0,49	0,08	0,17	60	14	11	11

Tabela 5 - Media da produção de materia seca (g) e extração total de macro (mg) e micronutrientes (microgramas) pelo cafeeiro.

pH	TRAT	H.S.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B
4,5	0,05	128	3044.92	228.5	2454.20	1278.48	407.77	318.42	12187	5869	3629	3110
	0,10	163	3889.65	288.9	2890.99	1524.38	478.07	408.40	15530	7568	4340	4374
	0,20	152	3361.10	279.8	2798.63	1490.21	456.05	394.05	13714	5663	3017	2896
5,5	0,05	126	3302.73	243.9	2779.95	1297.79	428.67	322.02	10765	4175	3401	3238
	0,10	119	3107.69	229.3	2440.23	1229.09	381.15	386.97	9178	6224	3589	3453
	0,20	152	3499.37	292.3	2886.51	1535.87	491.9	395.17	13440	6194	3643	1510
6,5	0,05	100	2808.03	178.0	2041.37	981.13	326.35	198.57	6793	3509	2537	2591
	0,10	185	3635.66	370.6	3148.56	1845.16	583.15	391.60	55443	9194	1441	5194
	0,20	141	3253.52	223.7	2462.16	1333.17	428.02	345.85	12640	3103	3192	2705

Tabela 6 - Resumo das análises de variância da matéria seca total e das concentrações dos macronutrientes (%) das folhas do cafeeiro.

Causas de Variância	G.L.	M.S.	-Q.M.-----					
			Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Calcio	Magnésio	Enxôfre
pH	2	723.023	0.06388	0.00045	0.00187	0.02681	0.00015	0.00358
Tratamento	2	4839.037	0.25935	0.00042	0.14527	0.01521	0.0054*	0.00461
pH x Tratamento	4	2503.981	0.36820*	0.00073	0.11934	0.03051	0.00015	0.00339
Resíduo	27	2375.743	0.14069	0.00131	0.14608	0.03500	0.0015	0.0025
TOTAL	35							
C.V.Z		34.60	11.23	15.44	15.63	14.20	10.32	18.34

Tabela 7 - Resumo das análises de variância das concentrações dos macronutrientes (%) na matéria seca dos 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro.

Causa de		----- Q.N. -----					
Variância	G.L.	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
pH	2	0.0773	0.0018	0.2842	0.0266	0.0064**	0.0206*
Tratamento	2	0.7068*	0.0039*	0.1631	0.0168	0.0008	0.0108
pH x Tratamento	4	0.3511*	0.0006	0.0550	0.0182	0.0032**	0.0020
Resíduo	27	0.1463	0.0009	0.1675	0.0168	0.0007	0.0076
TOTAL	35						
C.V.Z		11.47	16.37	18.83	10.42	7.07	31.22

Tabela 8 - Resumo das análises de variância das concentrações dos macronutrientes (%) na matéria seca dos ramos do cafeeiro.

Causas	-----Q.M.-----						
	Variância	G.L.	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
pH	2	0.1125	0.0034	0.4004*	0.0305	0.0105*	0.0015
Tratamento (T)	2	0.0039	0.0033	0.6905*	0.0562*	0.0030	0.0053**
pH x tratamento	4	0.1997*	0.0010	0.0426	9.8117	0.0010	0.0066**
Resíduo	27	0.0740	0.0025	0.1405	0.0128	0.0041	0.0008
TOTAL	35						
C.V.Z		18.72	23.01	19.12	17.17	18.63	12.19

Tabela 9 - Resumo das análises de variância das concentrações dos macronutrientes (%) na matéria seca dos caules do cafeeiro.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxôfre
pH	2	0.0113	0.0002	0.0295	0.0131	0.00078	0.0049*
Tratamento	2	0.0136	0.0004	0.0000**	0.0187	0.00027	0.0087**
pH x Tratamento	4	0.4021	0.0004	0.0513*	0.0041	0.00107	0.0140**
Resíduo	27	0.0367	0.0004	0.0133	0.0139	0.0006	0.0016
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>						
<b>C.V.Z</b>		<b>17.89</b>	<b>21.94</b>	<b>13.27</b>	<b>24.47</b>	<b>23.44</b>	<b>23.62</b>

Tabela 10 - Resumo das análises de variância das concentrações dos micronutrientes (ppm) na matéria seca das folhas do cafeeiro.

Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.-----			
		Ferro	Manganês	Zinco	Boro
pH	2	1943.44*	403.00	3.52	228.02
Tratamento (T)	2	43.69	938	11.86*	191.69
pH x Tratamto	4	764.15	500.33	14.77**	48.86
Resíduo	27	504.18	3442.06	2.96	200.59
TOTAL	35				
C.V.Z		29.61	855	15.72	26.11

Tabela 11 - Resumo das análises de variância das concentrações dos micronutrientes (ppm) na matéria seca do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro.

Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.-----			
		Ferro	Manganês	Zinco	Boro
pH	2	634.11	785.33	1.02	137.02
Tratamto	2	660.52	212275	19.52*	3091.02**
pH x Tratamto	4	1010.31*	668.20	2.32	415.40
Resíduo	27	342.77	2660.90	4.56	523.50
TOTAL	35				
C.V.Z		23.77	86.81	20.73	48.45

Tabela 12 - Resumo das análises de variância das concentrações dos micronutrientes (ppm) na matéria seca dos ramos do cafeeiro.

Causas de Variância	G.L.	Ferro	Manganês	Zinco	Boro
pH	2	237.69	311.69	931.02	5.00
Tratamento	2	1693.36*	1884.77	994.19	132.58**
pH x Tratamento	4	33.40	200.40	649.15	13.41
Resíduo	27	334.64	744.50	993.37	21.62
TOTAL	35				
C.V.Z		24.96	30.50	37.01	19.04

Tabela 13 - Resumo das análises de variância das concentrações dos micronutrientes (ppm) na matéria seca dos caules do cafeeiro.

Causas de Variância	G.L.	Q.M.			
		Ferro	Manganês	Zinco	Boro
pH	2	410.58	79.00	111.36	2.38
Tratamento (T)	2	100.00	412.75*	56.02	2.38
pH x Tratamto	4	97.20	52.00	29.36	9.41
Resíduo	27	315.12	138.12	73.29	7.17
TOTAL	35				
C.V.		20.96	101.46	54.45	20.73

Tabela 14 - Resumo das análises de variância da extração total dos macronutrientes (mg) pelo cafeeiro.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
pH	2	119396.42	371.77	99968.87	17833.04	658.79	11395.16
Tratamento	2	822765.94	19262.12*	515739.95	396542.25	28426.61	35406.92*
pH x Tratamto	4	345761.04	14925.90*	581451.60	266595.66	27958.10	11730.94
Resíduo	27	744011.30	7073.59	446558.40	259424.48	23640.56	11966.59
TOTAL	35						
C.V.%		25.89	32.41	25.16	36.62	3.76	31.94

Tabela 15 - Resumo das análises de variância da extração total dos micronutrientes (microgramas) pelo cafeeiro.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.			
		Ferro	Manganês	Zinco	Boro
pH	2	25150865.88	3029349.81	329968.76	209219.68
Tratamento	2	48461044.70	32947901.07	5341799.99*	5854840.36*
pH x Tratamento	4	33524893.52	9344174.35	2360404.93	2350177.75
Resíduo	27	27576106.01	16391978.01	2010091.40	1933616.53
TOTAL	35				
C.V.Z		42.97	69.95	30.26	38.95

#### 4.1.1 - Concentração de Nutrientes na Materia Seca nas Folhas Total do Cafeeiro.

##### Nitrogênio

Os resultados da análise de variância do teor de nitrogênio das folhas no cafeeiro, em função das doses de Zinco e do pH encontram-se na Tabela 6.

O desdobramento das interações pH x tratamento acham-se nas Tabelas 9 e 10 e Figuras 1 e 2.

As Tabelas 9 e 10 mostram o comportamento quadrático e linear do teor de nitrogênio em função dos tratamentos dentro do pH 6,5 e de pH dentro do tratamento 0,05 ppm de zinco, respectivamente.

Nota-se na Figura 1 que houve uma diminuição na concentração de nitrogênio, pela aplicação de zinco no substrato, até um valor mínimo equivalente a 2.751% de nitrogênio e concentração de zinco de 0,14 ppm.

Tabela 16 - Desdobramento das análises de variância do teor de nitrogênio das folhas do cafeeiro em função dos tratamentos dentro de pH.

Causas de Variância		Q.M.	pH	
			5,5	6,5
Regressão Linear	1	0.00526	0.25459	0.27362
Regressão Quadr.	1	0.20400	0.00600	1.24802**
Residuo	27	0.14069	0.14069	0.14069

Tabela 17 - Desdobramento das análises de variância do teor de nitrogênio das folhas do cafeeiro em função dos níveis de pH dentro dos tratamentos.

Causas de Variância	G.L.	Q.M.	TRATAMENTOS		
			0,05	0,10	0,20
Regressão Linear	1	0.84499*	0.50501	0.03251	
Regressão Quadr.	1	0.00735	0.20720	0.00350	
Residuo	27	0.14069	0.14069	0.14069	

A partir dessa concentração a aplicação de zinco provocou aumentos na concentração de nitrogênio.

Possivelmente este fato deve ter ocorrido

pelo aumento do tamanho da folha, que não foi acompanhado pela absorção promovendo efeitos de diluição na concentração.

Figura 1 - Concentração de nitrogênio em função de níveis de zinco em solução nutritiva com pH 6,5.

$$y = 5,376667 - 38,25x + 139,333x^2$$

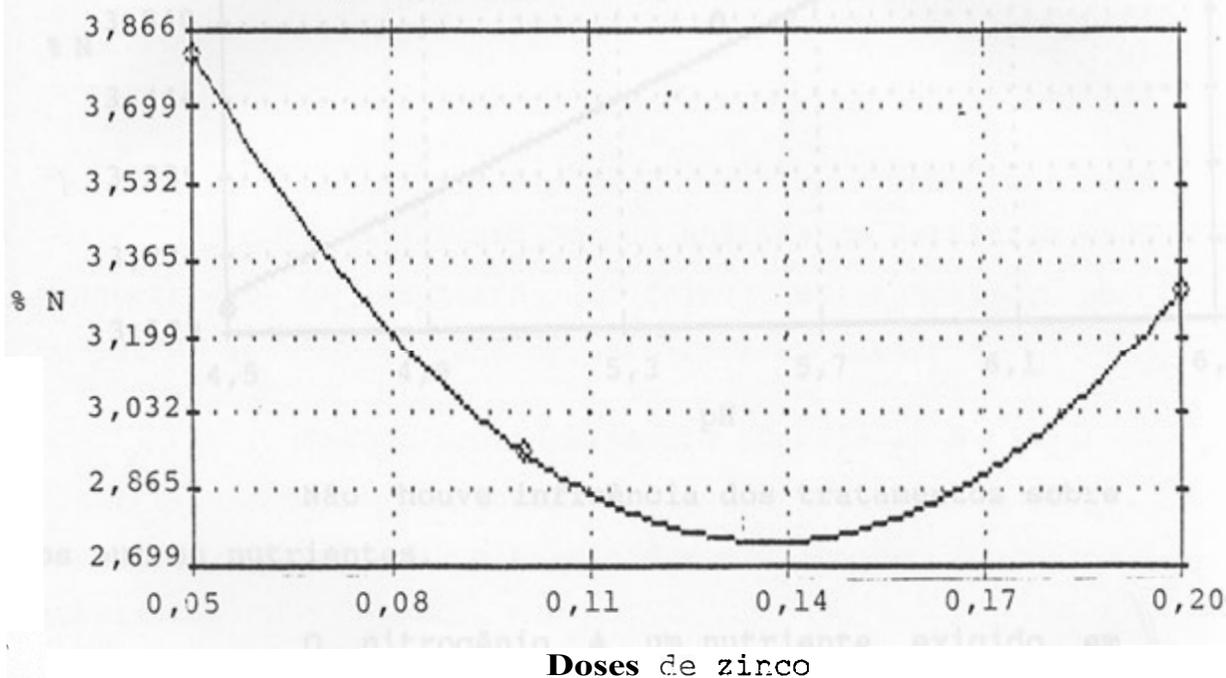
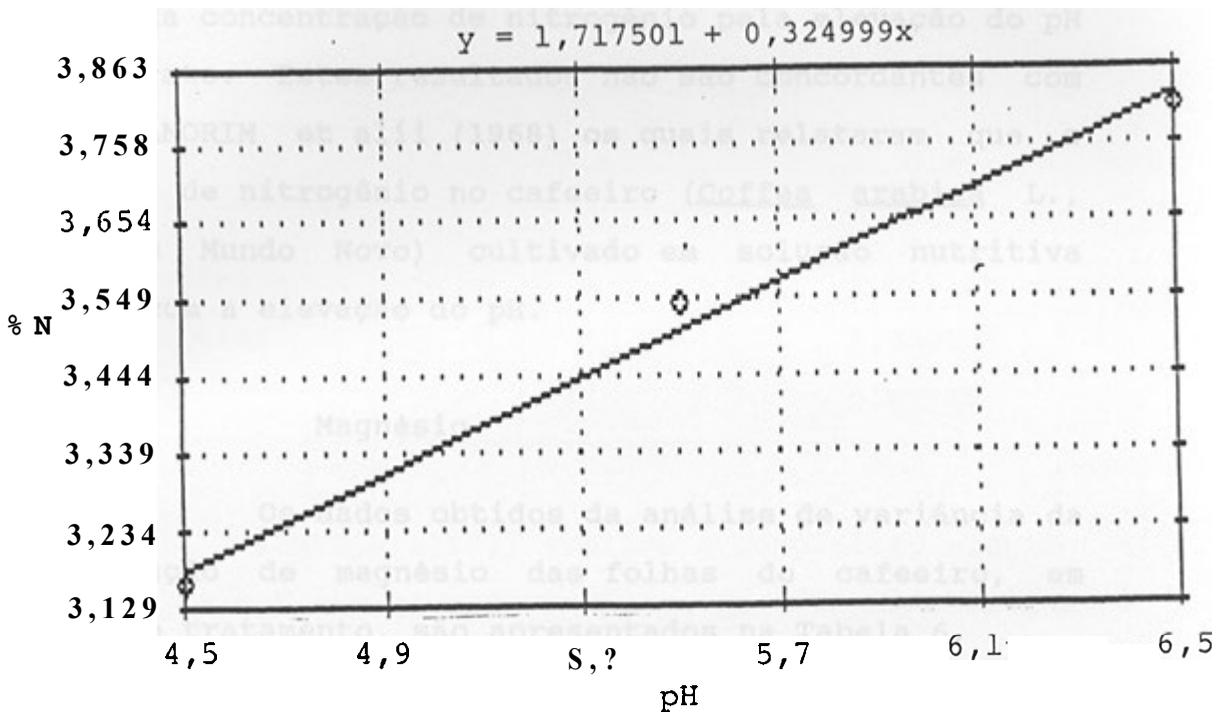


Figura 2 - Concentração de nitrogênio em função de níveis de pH no tratamento 0,05 ppm de zinco.



Não houve influência dos tratamentos sobre os outros nutrientes.

O nitrogênio é um nutriente exigido em grandes quantidades pelo cafeeiro, e não havendo outros fatores limitantes é evidenciado no desenvolvimento rápido (MALAVOLTA, 1986).

OZANNE (1955) cita que o zinco absorvido pode ficar retido nas raízes como complexo Zn-proteína, dificultando assim, a translocação do mesmo para a parte aérea.

A Figura 2 mostra que houve um aumento linear da concentração de nitrogênio pela elevação do pH no substrato. Estes resultados não são concordantes com os de AMORIM et alii (1968) os quais relataram que a absorção de nitrogênio no cafeeiro (Coffea arabica L., variedade Mundo Novo) cultivado em solução nutritiva diminui com a elevação do pH.

#### Magnésio

Os dados obtidos da análise de variância da concentração de magnésio das folhas do cafeeiro, em função do tratamento, são apresentados na Tabela 6.

Feito o desdobramento (Tabela 18 e Figura 3) verifica-se efeito linear decrescente no teor de magnésio em função da elevação dos níveis de zinco no substrato.

Segundo HOAGLAND (1948), a diminuição na absorção de um cátion será compensada pela absorção de outro, de maneira que o total de bases permanecerá constante, conduzindo a um equilíbrio no interior da planta.

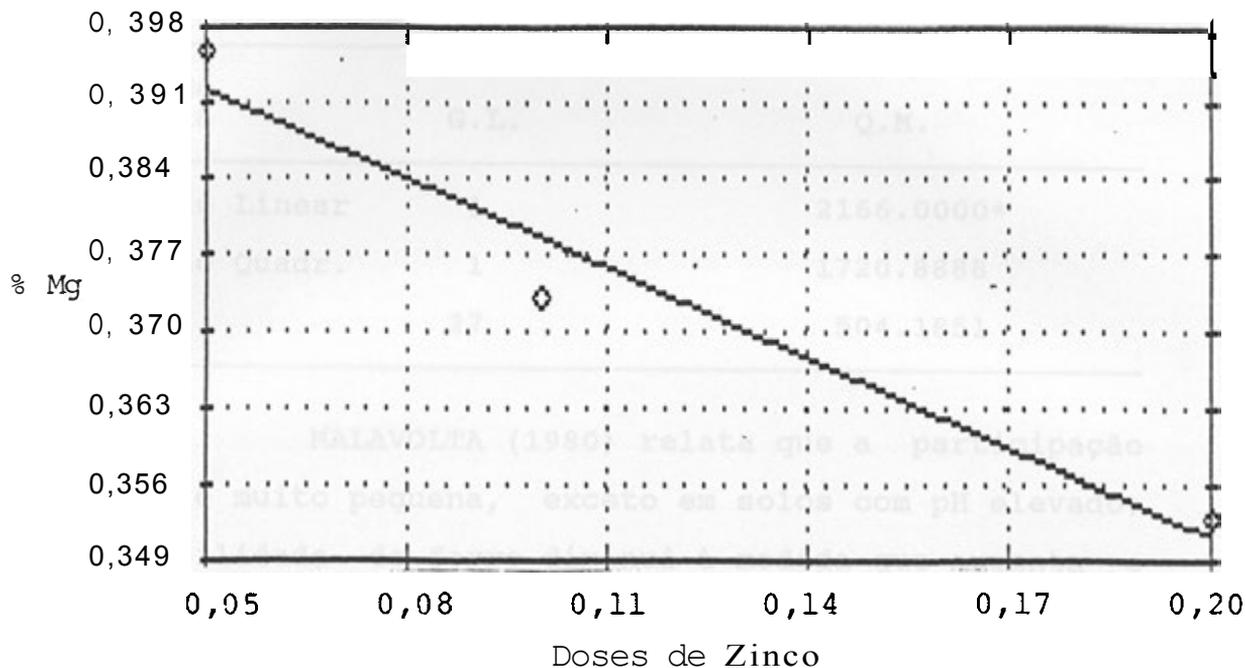
Tabela 18 - Desdobramento da análise de variância do teor de magnésio das folhas do cafeeiro em função dos níveis de tratamento.

Causas de Variância	G. L.	Q. M.
Regressão Linear	1	0.01031*
Regressão Quadr.	1	0.00053
Residuo	27	0.00149

EPSTEIN (1972) explica a competição iônica entre Mg, Ca e K com base na variação de afinidade destes ions pelos seus carregadores, que é influenciada pelas concentrações externas dos ions. A medida que a concentração externa aumenta, são mobilizados mecanismos de afinidade menores podendo ocorrer a competição.

Figura 3 - Concentração de magnésio em função dos níveis de zinco nos tratamentos.

$$y = 0,4058333 - 0,274284x$$



Ferro

Os resultados da análise de variância da concentração de ferro nas folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca, em função do pH e tratamentos são apresentadas na Tabela 10.

Pela Tabela 19 e Figura 4 nota-se que houve um efeito linear decrescente do teor de ferro em função da elevação do pH.

Tabela 19 - Desdobramento da análise de variância dos teores de ferro, das folhas do cafeeiro em função do pH.

Causas de Variância	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	2166.0000*
Regressão Quadr.	1	1720.8888
Residuo	27	504.1851

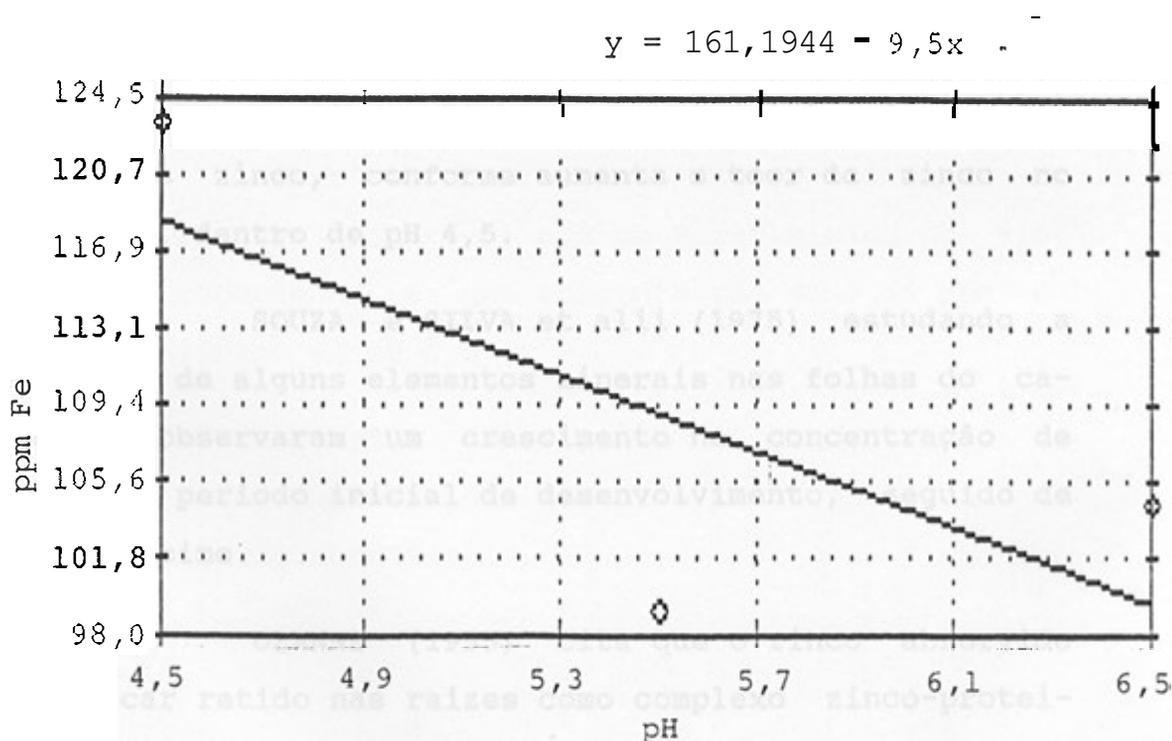
MALAVOLTA (1980) relata que a participação do  $Fe^{2+}$  é muito pequena, exceto em solos com pH elevado: a solubilidade do ferro diminui à medida que aumenta o pH. E de FRANCO e MENDES (1949) a verificação de que a absorção de ferro pelo café é difícil, com pH próximo a 7,0, na presença de fósforo. Por outro lado, GUBLER (1956) constatou que a redução dos ions ferrícos para a forma ferrosa, pelo ácido ascórbico e pelos grupos sulfídricos, se realiza mais facilmente em pH ácidos.

LINGLE et alii (1963) relatam que a absorção de ferro é extremamente influenciada pela competição de cations como:  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  e  $K^{+}$ .

A translocação do ferro é também influenciada pelo pH e nível de fósforo; é rápida em pH 4,0 e num teor médio de fósforo em pH 7,0 e alto nível de

fósforo, o ferro não penetra no xilema, mas precipita-se na superfície da raiz. Isto mostra a influência do ion hidrogênio e da concentração de fósforo no substrato, sobre a distribuição e translocação do ferro (BIDDULPH, 1995 e WALLACE, 1963). O ferro precipita-se no tecido condutor em pH alto (HOFFER e CARR, 1923).

Figura 4 - Concentração de ferro em função dos níveis de pH.



## Zinco

A análise de variância da concentração de zinco, nas folhas do cafeeiro com base no peso da matéria seca, em função dos tratamentos e pH, encontram-se na Figura 10.

No desdobramento da análise de variância (Tabela 20) observa-se o efeito linear e quadrático na concentração de zinco em função dos tratamentos, dentro dos pH 4,5 e 5,5 respectivamente (Figuras 5 e 6).

Na Figura 5 houve um decréscimo da concentração de zinco, conforme aumenta o teor de zinco no substrato, dentro de pH 4,5.

SOUZA e SILVA et alii (1975) estudando a variação de alguns elementos minerais nas folhas do cafeeiro, observaram um crescimento na concentração de zinco no período inicial de desenvolvimento, seguido de um decréscimo.

OZANNE (1955) cita que o zinco absorvido pode ficar retido nas raízes como complexo zinco-proteína.

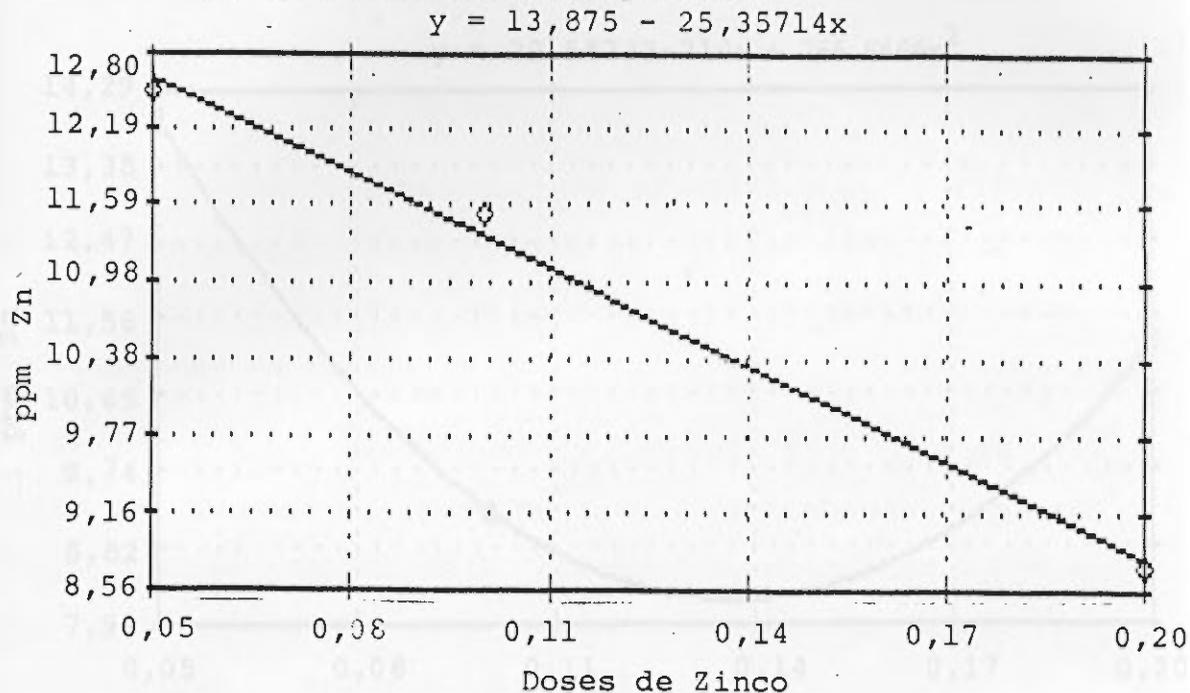
Tabela 20 - Desdobramento da análise de variância dos teores de zinco das folhas do cafeeiro, em função dos pH.

Causas de Variância	G.L.	-----Q.M.----- -----pH-----		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	30.00595*	7.71428	6.88095
Regressão Quadr.	1	0.160714	37.785713*	0.28571
Resíduo	27	2.96296	2.96296	2.96296

Houve um decréscimo na concentração de zinco nos tecidos (Figura 6) até um valor mínimo de 8,00 ppm, correspondendo a uma concentração de 0,14 ppm no substrato dentro do pH 5,5.

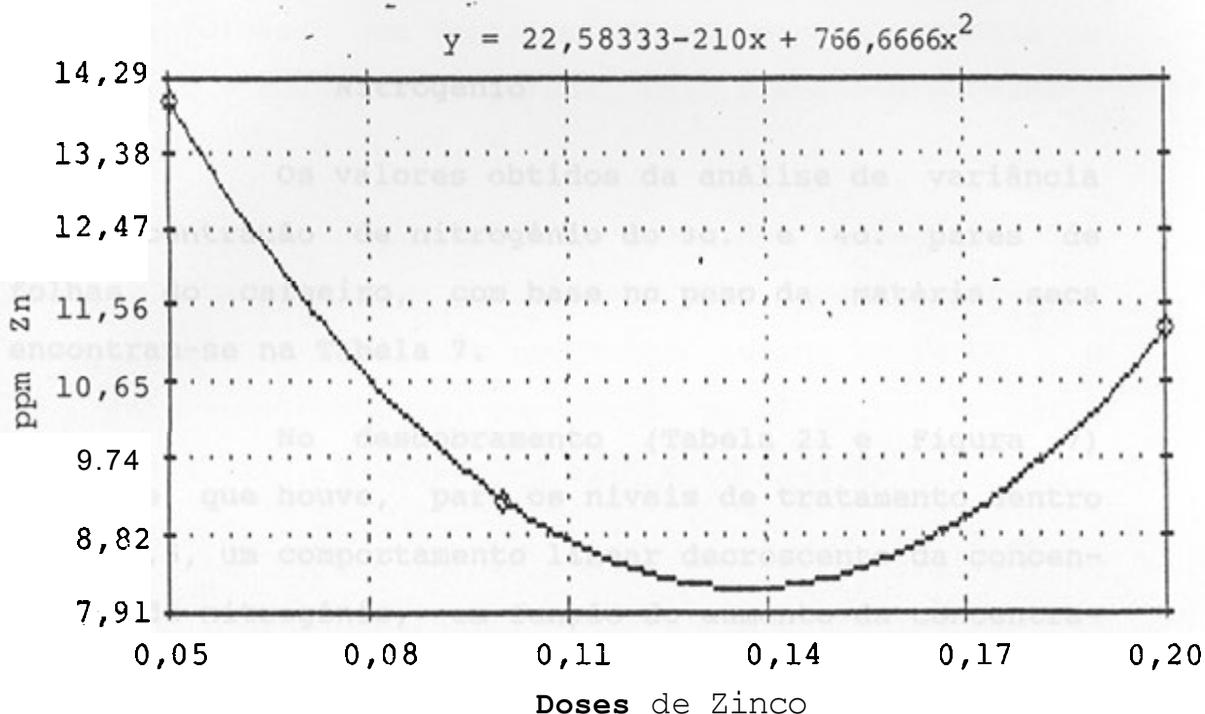
A partir desse ponto a concentração do micronutriente nos tecidos aumentou pela aplicação do mesmo na solução nutritiva.

Figura 5 - Concentração de zinco em função de níveis de solução nutritiva com pH 6,5.



Segundo WITTWER, BUKOVAC e TUKEY (1963), a diminuição da taxa de absorção após um rápido período inicial caracterizaria a fase de absorção dos nutrientes que requer energia metabólica. KYLIN (1960) estudando a acumulação de sulfato em folhas de várias plantas, concluiu que o transporte metabólico do sulfato é realizado por duas diferentes fontes de energia, cada uma correspondendo a condições de luz e escuro.

Figura 6 - Concentração de zinco em função dos níveis de tratamentos dentro do pH 5,5.



MENGEL e KIRKBY (1978) verificaram que o zinco normalmente acumula-se nos tecidos da raiz, especialmente quando o suprimento é grande, mas CARROL e LONERAGAN (1968) afirmam que essa retenção de quantidades excessivas de zinco pelas raízes só ocorre quando o suprimento é adequado: se as plantas estiverem sujeitas à condição de deficiência, grande parte do zinco acumulado nas raízes é redistribuído e utilizada pelas partes aéreas.

4.1.2 - Concentração de Nutrientes nos 30. e 40. Pares de Folhas do cafeeiro.

Nitrogênio

Os valores obtidos da análise de variância da concentração de nitrogênio do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 7.

No desdobramento (Tabela 21 e Figura 7) nota-se que houve, para os níveis de tratamento dentro do pH 5,5, um comportamento linear decrescente da concentração de nitrogênio, em função do aumento da concentração de zinco na solução nutritiva.

Tabela 21 - Desdobramento das análises de variância, do teor de nitrogênio das folhas do 30. e 40. pares, em função dos tratamentos dentro dos pH.

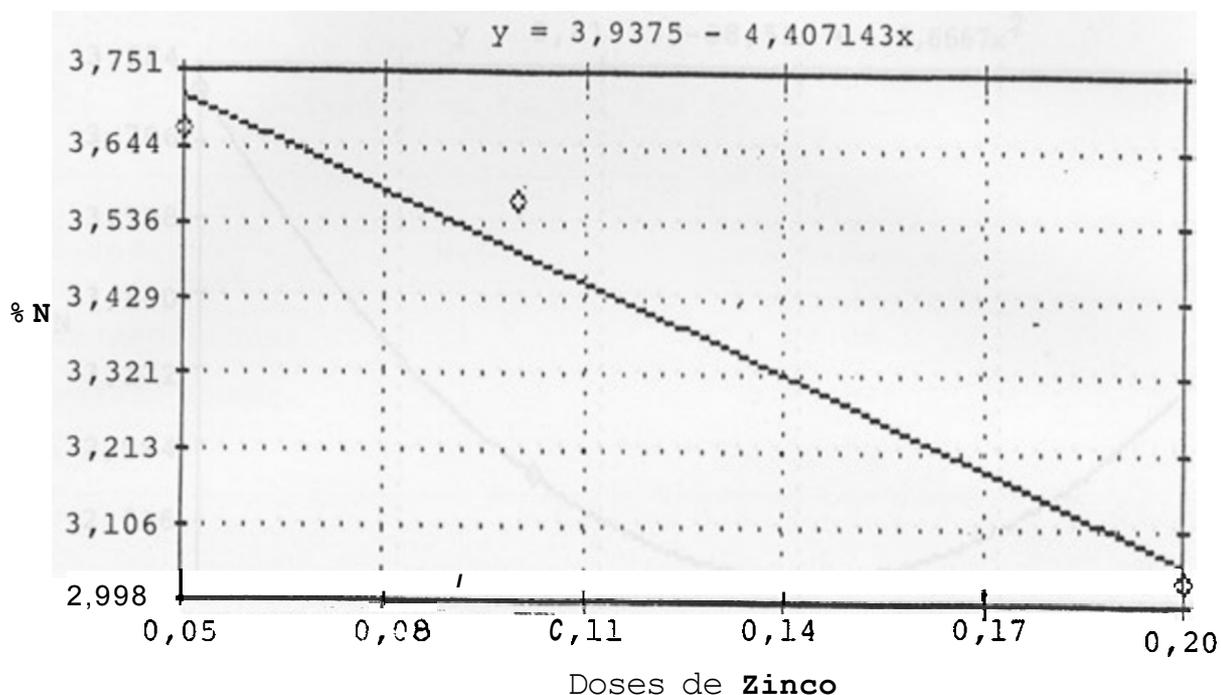
Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----pH-----		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	0.00595	0.90640*	0.54173
Regressão Quadr.	1	0.132114	0.03111	1.20071*
Residuo	27	0.14639	0.14639	0.14639

Esta diminuição talvez seja explicada pelo tempo decorrido entre a aplicação do nutriente e a análise das folhas, que seria suficiente para a absorção do nitrogênio e diluição na planta, pelo crescimento vegetativo.

A diminuição do teor de nitrogênio das plantas nos níveis de pH mais elevado possivelmente se deve também ao efeito da competição iônica entre  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ . Fato semelhante foi constatado em milho por HONERT e HOOYMANS (1955), citados por SUTCLIFFE (1962).

Para o pH 6,5 conforme mostra na Figura 8, houve um efeito quadrático, onde ocorreu uma diminuição na concentração de nitrogênio a um valor mínimo equivalente de 2,6% correspondendo a uma concentração de zinco de 0,14 ppm. A partir deste ponto a aplicação de zinco no substrato provocou aumentos na concentração de nitrogênio.

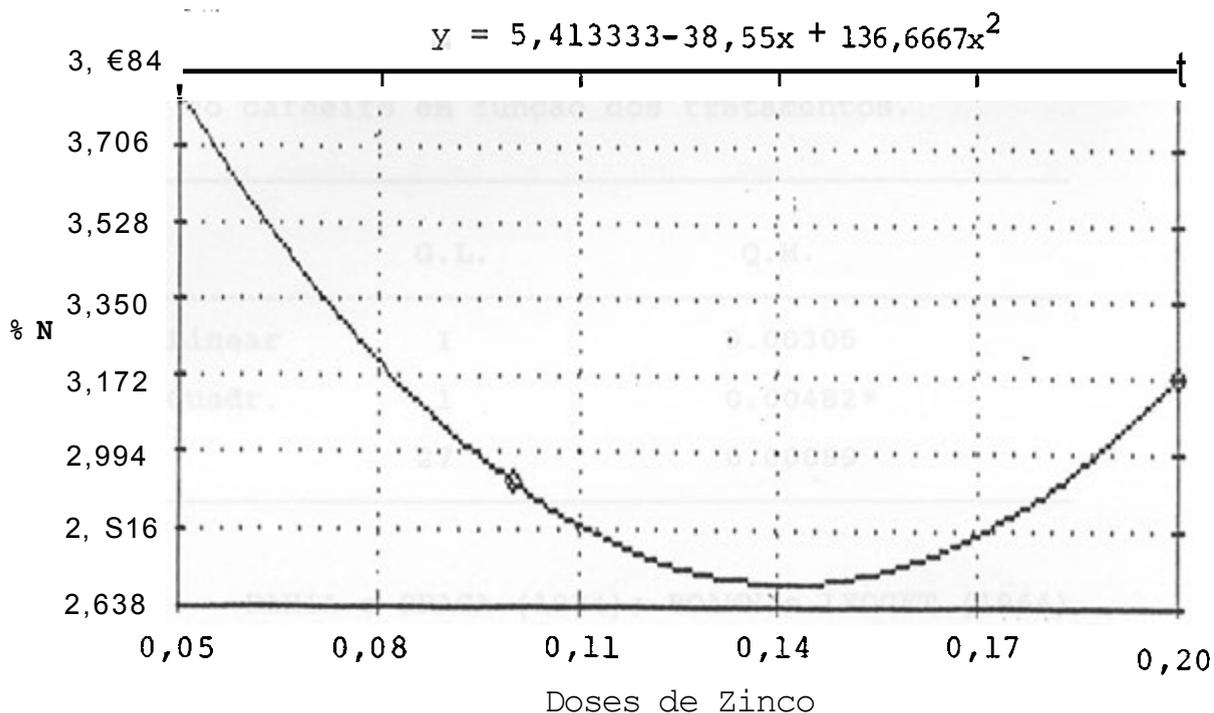
Figura 7 - Concentração de nitrogênio em função de níveis de zinco em solução nutritiva com pH 5,5.



Como as folhas indicadoras **são** sensíveis, provavelmente não foi acompanhado pela absorção promovendo efeitos de diluição na concentração. Fato semelhante a este observa-se nas folhas da Figura 1.

CHAUDHRY e LONERAAN (1970) relatam que o nitrogênio diminui drasticamente a concentração de zinco na parte aérea e raiz de plantas de trigo, devido ao seu maior desenvolvimento tanto da parte aérea como do sistema radicular, havendo maior absorção de zinco, mas a concentração é diminuída devido ao efeito diluição.

Figura 8 - Concentração de nitrogênio em função de níveis de zinco com pH 6,5.



### Fósforo

Os dados obtidos pela análise de variância do teor de fósforo do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, em função do tratamento encontram-se na Tabela 7.

Verifica-se no desdobramento (Tabela 15 e Figura 9) que houve um aumento na concentração de fósforo pela aplicação de zinco no substrato, até um valor máximo de 0.205% de P, correspondendo a 0,14 ppm da concentração de zinco no substrato. A partir deste ponto a aplicação

de zinco provocou diminuição na concentração de fósforo.

Tabela 22 - Desdobramento das análises de variância, do teor de fósforo do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro em função dos tratamentos.

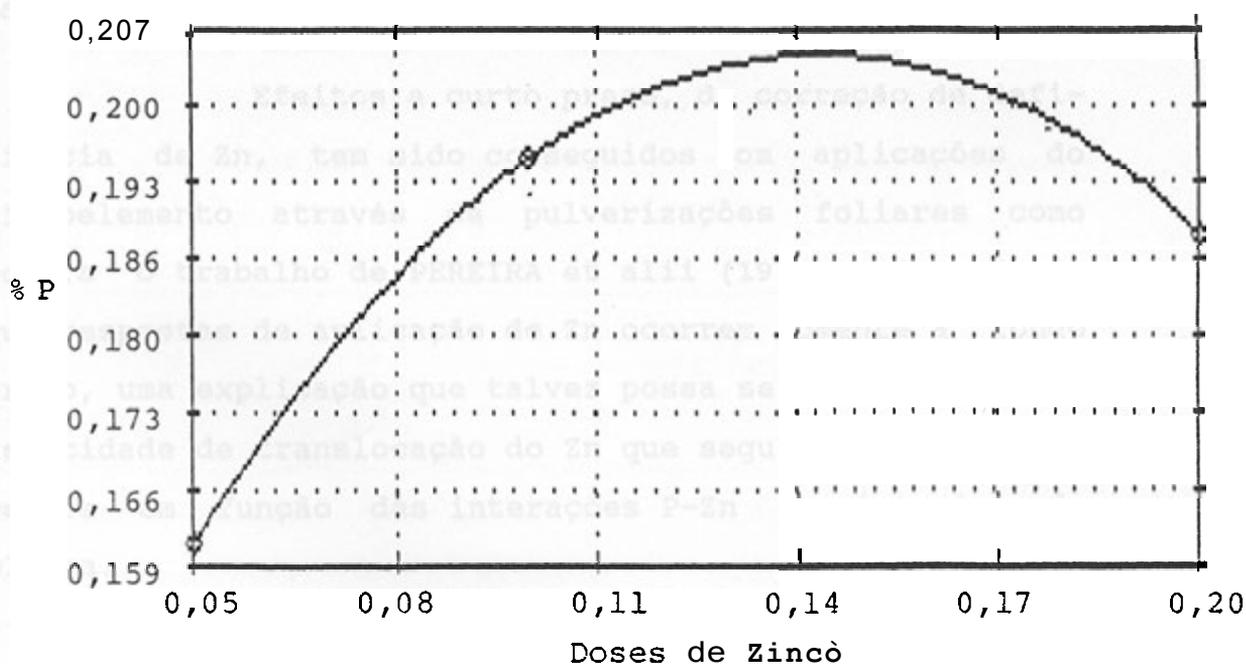
Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	0.00305
Regressão Quadr.	1	0.00482*
Resíduo	27	0.00089

BAHIA e BRAGA (1974); BOAWN e LEGGET (1964) e MILLIKAN (1963) citam que o desequilíbrio nas plantas entre o P e Zn é devido a distúrbios metabólicos nas células da planta, através da interferência do P na função metabólica do zinco. Outros autores citam a precipitação do zinco pelo P na superfície das raízes, como STUKENHOLTZ et alii (1966); ELLIS et alii (1964) e MOTA-SARA (1974). Também BROWN et alii (1961); CHAUDHRY e SHARIF (1974); CHRISTENSEN e JACKSON (1982); ELLIS et alii (1964); FAGERIA e ZIMMERMAN (1979); JACKSON et alii (1967); LANGIN et alii (1962); LO e REISENAUER (1968); PATIL e SOMAWANSHI (1982); RUDGERS et alii (1970); SHARMA et alii (1968a); TERMAN e ALLEN (1974); THOMPSON (1962) e GANIRON et alii (1968), informam que o P causa diminuição

na concentração de zinco nos tecidos das plantas, dando como explicação desse efeito, a atuação do P no sitio de absorção, limitando a translocação e efeito de diluição. Citam ainda alguns autores, que essa diminuição depende de vários fatores como o tipo de planta, efeito de temperatura, umidade, pragas e insetos e outros.

Figura 9 - Concentração de fósforo em função dos níveis de zinco dentro dos tratamentos.

$$y = 0,1025 + 1,433334x - 5,000001x^2$$



A possibilidade de que o fósforo parece bloquear a absorção de zinco é que a interação entre os dois nutrientes ocorre na superfície da raiz ou dentro

dela, foi defendida por LANGIN et alii (1962).

Os resultados obtidos por MARTIN, McLEAN e QUICK (1965), STUKENHOLTZ et alii (1966) e por TERMAN, ALLEN e BRADFORD (1966), mostraram que a relação P:Zn nas plantas varia em uma faixa muito grande, razão pelo qual não pode ser usada para uma indicação da disponibilidade de Zn para as plantas e nem para se estabelecer um valor crítico definido, indicativo de uma possível deficiência de zinco. A relação P:Zn parece servir somente para confirmar o diagnóstico da deficiência.

Efeitos a curto prazo, de correção de deficiência de Zn, tem sido conseguidos com aplicações do microelemento através de pulverizações foliares como mostra o trabalho de PEREIRA et alii (1976). Supondo-se que respostas de aplicação de Zn ocorrem somente a longo prazo, uma explicação que talvez possa ser dada é a baixa velocidade de translocação do Zn que segundo OLSEN (1972) ocorre em função das interações P-Zn no interior da planta.

Como se nota, a literatura, mostra explicações diferentes para um mesmo fenômeno, o que possivelmente reflete na diversidade das condições experimentais empregadas.

## Magnésio

Os dados referentes à análise de variância da concentração de magnésio, do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca acham-se na Tabela 7.

O desdobramento da interação pH x tratamento encontram-se na Tabela 23 e Figura 10, e mostra o efeito quadrático dos níveis de pH do teor de magnésio dentro do tratamento 0,2 ppm de zinco.

Tabela 23 - Desdobramento da análise de variância do teor de magnésio do 30. e 40. pares e folhas do cafeeiro, em função do pH dentro dos tratamentos.

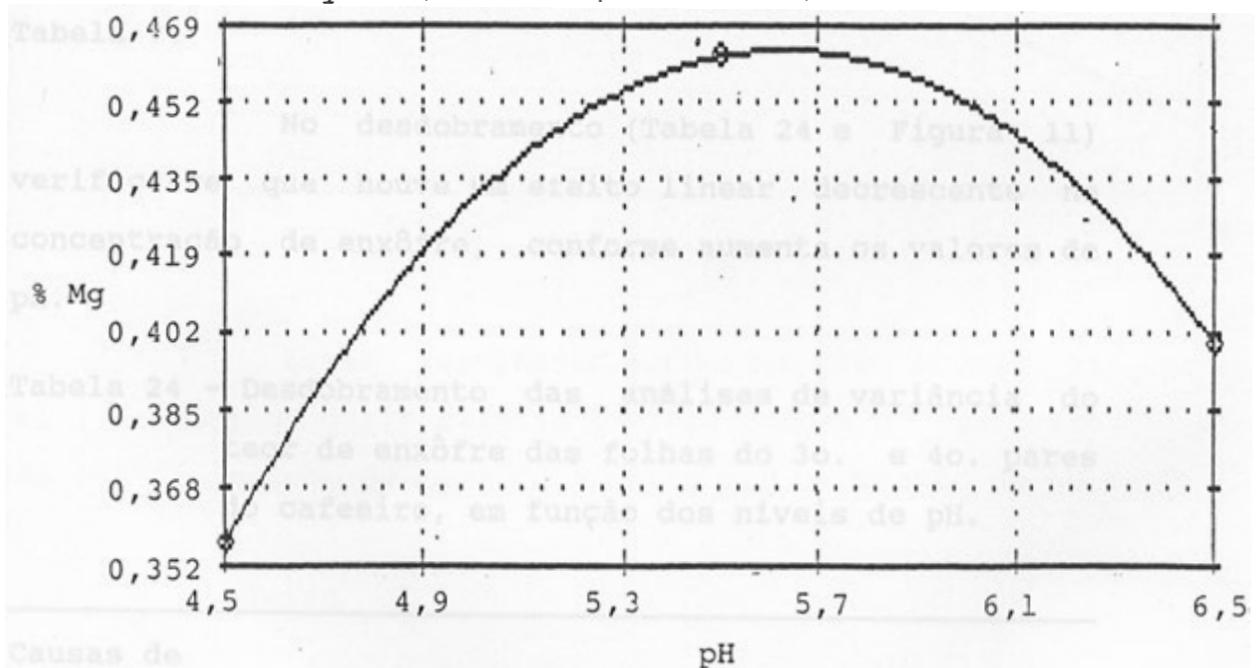
Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----TRATAMENTOS-----		
		0,05	0,10	0,20
Regressão Linear	1	0.00045	0.00101	0.00361
Regressão Quadr.	1	0.00015	0.00220	0.01870**
Resíduo	27	0.00078	0.00078	0.00078

Houve um aumento na concentração de magnésio até o ponto máximo de 0,46% em um valor de pH estimado em 5,6. A partir deste ponto inicia um decréscimo,

pelo aumento dos valores de pH na solução nutritiva. Estes resultados são concordantes com os de AMORIM et alii (1968) que relatam que há uma diminuição na absorção do magnésio, com o aumento do pH, sendo que a faixa ótima para o crescimento, número de folhas e peso da matéria seca foi entre 4,0 e 6,0.

Figura 10 - Concentração de magnésio em função dos níveis de pH na dose de 0,20 ppm de zinco.

$$y = -2,187812 + 0,9424999x - 0,08375x^2$$



Estes resultados estão dentro da faixa de pH encontrado por CHOKKANNA (1965), como sendo adequado para o bom desenvolvimento do cafeeiro.

CAMARGO et alii (1936) E CARVAJAL et alii (1963) encontraram variações de pH que discordam com os resultados acima mencionados.

#### Enxôfre

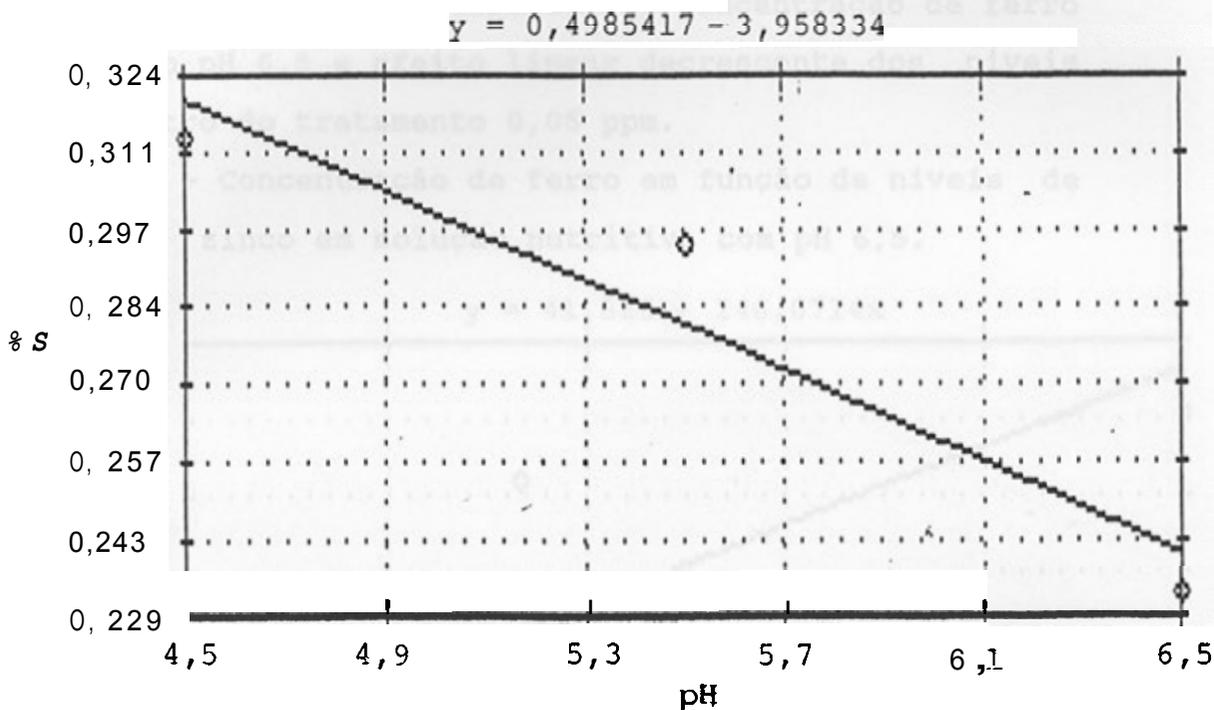
Os resultados da análise de variância da concentração de enxôfre do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca acham-se na Tabela 7.

No desdobramento (Tabela 24 e Figura 11) verifica-se que houve um efeito linear decrescente na concentração de enxôfre, conforme aumenta os valores de pH.

Tabela 24 - Desdobramento das análises de variância do teor de enxôfre das folhas do 30. e 40. pares do cafeeiro, em função dos níveis de pH.

Causas de Variação	G. L.	Q. M.
Regressão Linear	1	0. 03760*
Regressão Quadr.	1	0. 00361
Resíduo	27	0. 00768

Figura 11 - Concentração de enxofre em função dos níveis de pH.



Esses resultados concordam com **AMORIM** et alii (1968) os quais relatam que nas folhas do cafeeiro há uma diminuição do teor de enxofre com o aumento do pH.

#### Ferro

Os dados obtidos da análise de variância referentes a concentração de ferro do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca, encontram-se na Tabela 11.

Nas Tabelas 25 e 26 e nas Figuras 12 e 13

acham-se os desdobramentos, onde verifica-se um efeito linear crescente dos tratamentos na concentração de ferro dentro do pH 6,5 e efeito linear decrescente dos níveis de pH dentro do tratamento 0,05 ppm.

Figura 12 - Concentração de ferro em função de níveis de zinco em solução nutritiva com pH 6,5.

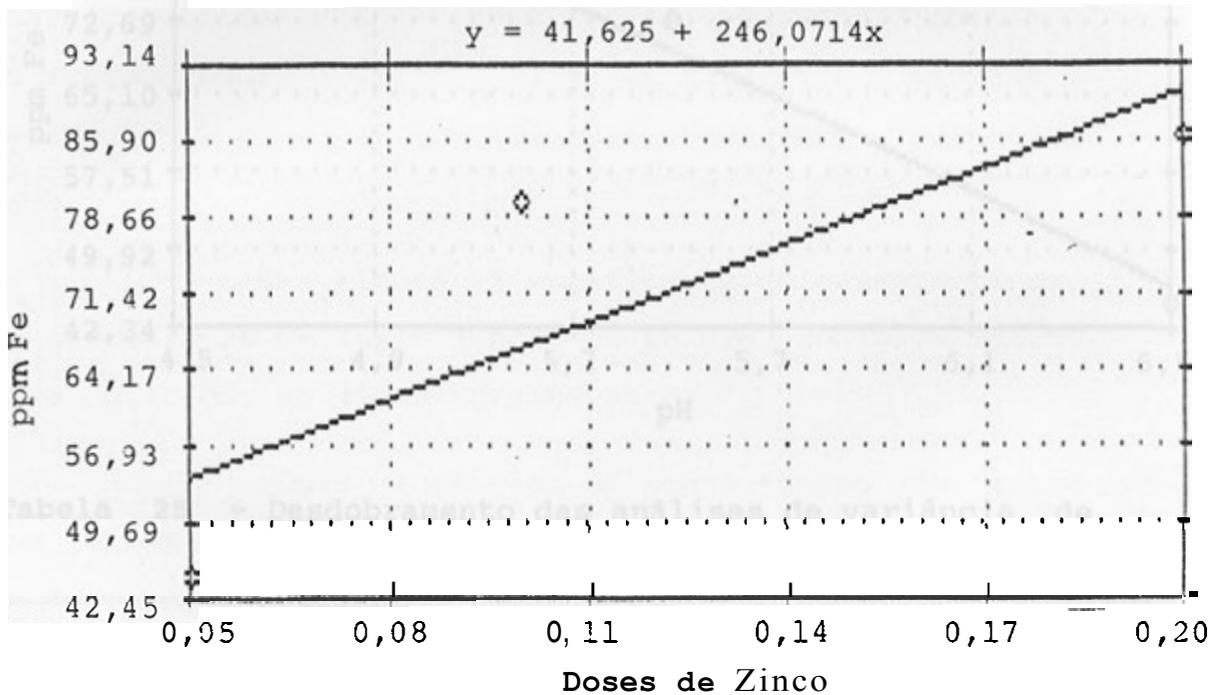


Figura 13 - Concentração de ferro em função de níveis de pH na dose 0.05 ppm de zinco.

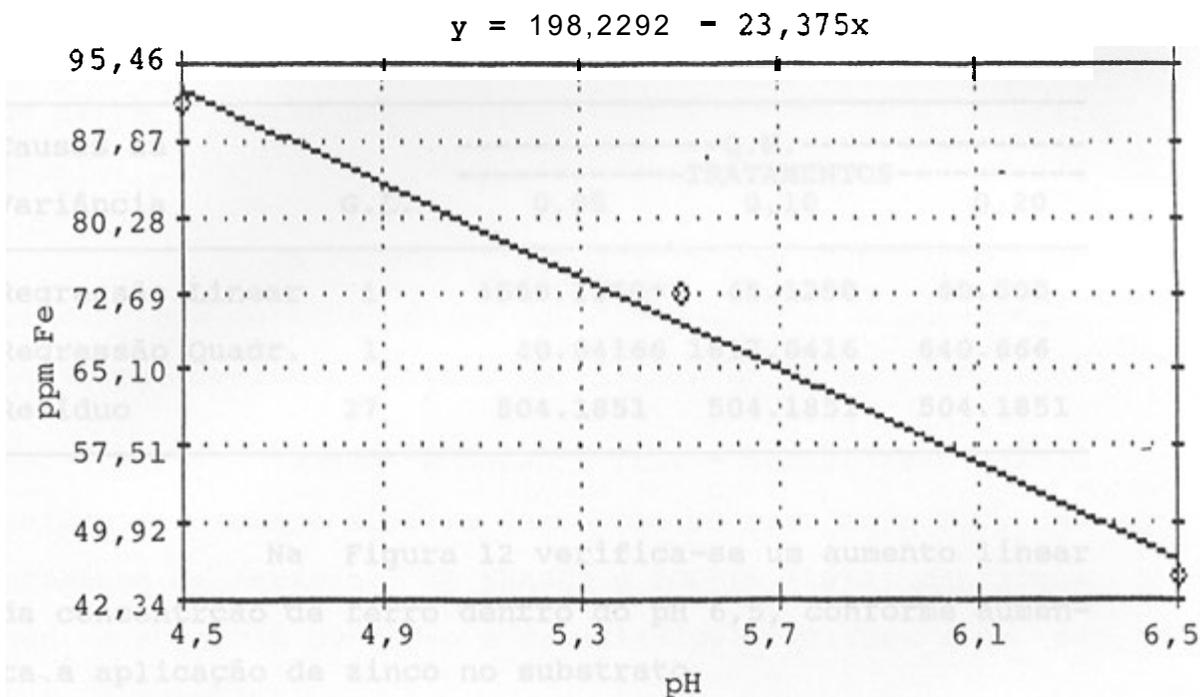


Tabela 25 - Desdobramento das análises de variância de ppm de ferro das folhas do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro em função dos tratamentos dentro do pH.

Causas de Variância	G. L.	Q.M.		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	1010.3809	162.05357	2825.7202*
Regressão Quadr.	1	138.2857	46.44642	1179.4463
Residuo	27	342.7777	342.7777	342.7777

Tabela 26 - Desdobramento das análises de variância de ppm de ferro do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro em função do pH dentro do tratamento.

Causas de Variância	G.L.	Q.M. TRATAMENTOS		
		0,05	0,10	0,20
Regressão Linear	1	4560.1250*	45.1250	40.500
Regressão Quadr.	1	40.04166	1617.0416	640.666
Resíduo	27	504.1851	504.1851	504.1851

Na Figura 12 verifica-se um aumento linear da concentração de ferro dentro do pH 6,5, conforme aumenta a aplicação de zinco no substrato.

Houve acréscimo na concentração de ferro nas folhas, o que demonstra não ter havido precipitação do ferro com as doses de zinco na solução nutritiva ou na superfície das raízes permitindo assim a translocação deste nutriente.

Essa tendência em crescer a concentração de ferro nos tratamentos, seja o resultado do antagonismo do ion ferro (MASCARENHAS, 1977).

LINGLE et alii (1963) relatam que a absorção de ferro é extremamente influenciada pela competição

de cátions como:  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  e  $K^{+}$ .

Em aplicações de Zn em folhas pulverizadas de plantas cítricas não houve influência na concentração de ferro (Labanauskas, 1969, conforme CAMARGO e SILVA, 1975).

Na Figura 13 observa-se que na concentração de 0,05 ppm de zinco houve uma diminuição da concentração de ferro, conforme aumenta os valores de pH no substrato.

FRANCO e MENDES (1949) verificaram que o café dificilmente absorve ferro com pH próximo a 7,0, na presença de fósforo. Já FRANCO e LOOMIS (1947) confirmam que a absorção do ferro é reduzida pelo fósforo a um pH 6,0 ou superior.

PATTEN e MAIN (1920) acharam que o ferro era precipitado na solução em pH variando de 3,5 a 6,0, entretanto em pH 6,0 e acima, tornava-se quase impossível a sua absorção na planta.

A translocação do Fe é influenciada pelo pH e nível de fósforo; é rápida em pH 4,0 num teor médio de fósforo, o ferro não penetra no xilema, mas precipita-se na superfície da raiz. Isto mostra a influência do íon hidrogênio e da concentração de fósforo no substrato, sobre a distribuição e translocação do ferro (BIDDULPH,

1955 e WALLACE, 1963) .

O ferro precipita-se no tecido condutor em pH alto (HOFFER e CARR, 1923) .

### Zinco

Os dados obtidos da análise de variância da concentração de zinco, do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca estão apresentados na Tabela 11.

O desdobramento (Tabela 27 e Figura 14) mostra efeito linear dos tratamentos nas concentrações de zinco na planta, houve aumento linear da concentração do zinco, conforme aumenta a aplicação do micronutriente no substrato.

O zinco é absorvido pelas plantas, principalmente como ion divalente, e mesmo quando em soluções extremamente diluídas, ele causa efeito no desenvolvimento do vegetal.

PAULA (1975) estudando os teores de diversos elementos minerais em folhas de café (Coffea arabica L. variedade Mundo Novo), relata que há uma relação linear entre o nível de zinco aplicado e o teor na folha, não se podendo recomendar níveis ótimos de aplicação

desse elemento.

Figura 14 - Concentração de zinco em função das doses de zinco para tratamentos.

$$y = 8,375 + 16,54762x$$

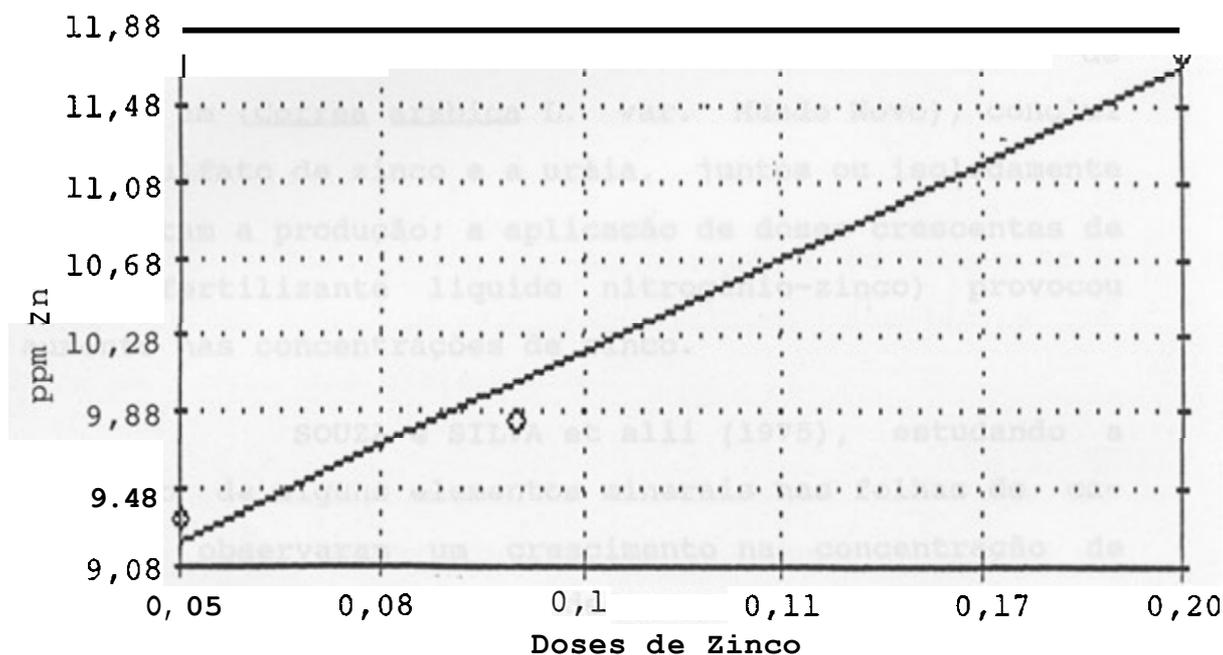


Tabela 27 - Desdobramento das análises de variância de ppm de zinco do 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	38.33531**
Regressão Quadr.	1	0.72023
Residuo	27	4.56481

Segundo BLANCO et alii (1972) a maior intensidade de absorção do elemento provocada pela diminuição da concentração hidrogeniônica & também, traduzida por uma regressão linear, altamente significativa.

OLIVEIRA (1980) trabalhando com fontes de zinco, em (Coffea arabica L. var. Mundo Novo), conclui que o sulfato de zinco e a ureia, juntos ou isoladamente não afetam a produção: a aplicação de doses crescentes de NZN (fertilizante líquido nitrogênio-zinco) provocou aumento nas concentrações de zinco.

SOUZA e SILVA et alii (1975), estudando a variação de alguns elementos minerais nas folhas do cafeeiro, observaram um crescimento na concentração de zinco no período inicial de desenvolvimento dos frutos.

SILVA (1979) trabalhando com doses de sulfato de zinco, em cafeeiro informa que as aplicações de doses crescentes de sulfato de zinco, via foliar, resultaram em um aumento linear no teor de zinco das folhas.

CAMARGO e SILVA (1975) citando Labanauskas, 1969 relatam que as aplicações de Zn aumentaram as concentrações de Zn e Mn nas folhas pulverizadas, mas diminuíram teor de N, Ca, Mg e Cu, não tendo influenciado as

concentrações de P, K, B e Fe.

### Boro

Os dados obtidos da análise de variância da concentração de boro nos 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro, com base no peso da matéria seca estão apresentados na Tabela 11.

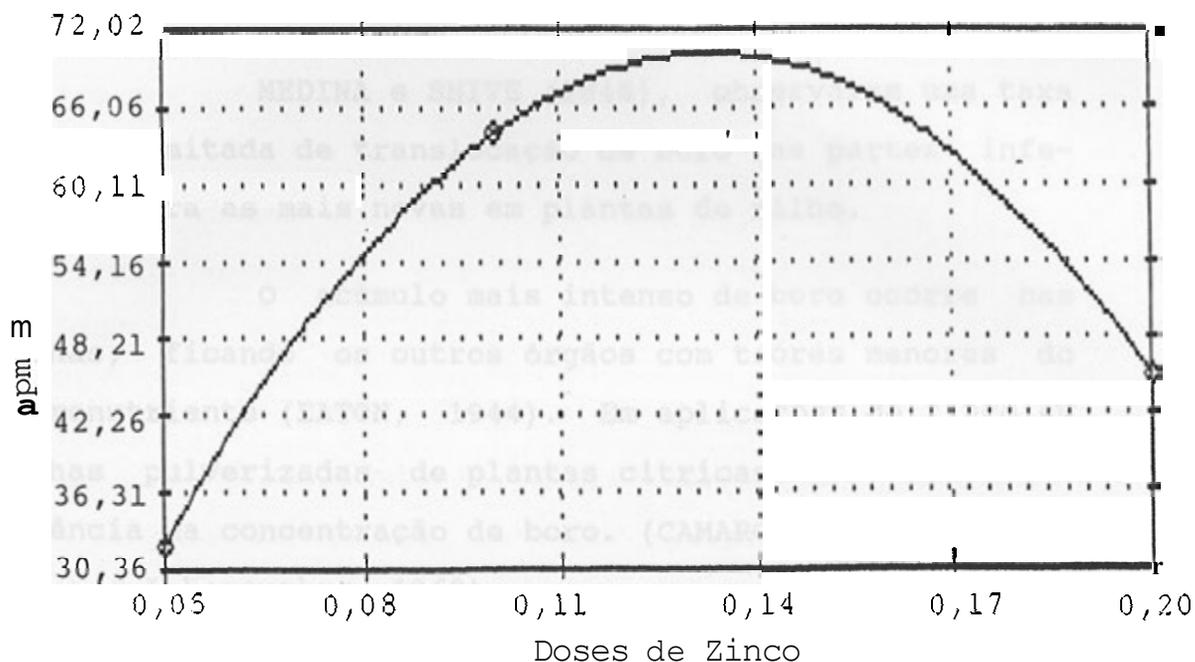
Verifica-se no desdobramento na Tabela 28 e Figura 15 que houve um efeito quadrático, nos teores de boro em função dos tratamentos.

Tabela 28 - Desdobramento das análises de variância de ppm de boro do 30. e 40. pares de folhas de cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	312.71623
Regressão Quadr.	1	5869.33931*
Residuo	27	523.50000

Figura 15 - Concentração de boro em função das doses de zinco para tratamentos.

$$y = -27,25 + 1465,833x - 5516,667x^2$$



A concentração de boro atingiu o valor máximo de 70,12 ppm pela aplicação de 0,13 ppm de zinco no substrato. A partir deste ponto a concentração do micronutriente nos tecidos diminuiu pela aplicação do zinco na **solução** nutritiva.

Isto poderia ser explicado talvez pelo fato do boro ter sido absorvido na dose 0,13 ppm, ocorreu que com o crescimento da planta, e o tempo decorrido, mesmo com doses mais elevadas houve a diluição nos tecidos da planta.

Segundo BRADFORD (1966), a absorção de boro pelas plantas, tem estreita relação com a concentração de outros ions no substrato.

MEDINA e SHIVE (1946), observaram uma taxa muito limitada de translocação de boro das partes inferiores para as mais novas em plantas de milho.

O acúmulo mais intenso de boro ocorre nas folhas, ficando os outros órgãos com teores menores do micronutriente (EATON, 1944). Em aplicações de zinco em folhas pulverizadas de plantas cítricas não houve influência na concentração de boro. (CAMARGO e SILVA (1975) citando Labanauskas, 1969).

#### 4.1.3 - Concentração de Nutrientes nos Ramos

##### Potássio

Os resultados referentes a análise de variância da concentração de potássio nos ramos do cafeeiro encontram-se na Tabela 8.

Nas Tabelas 29 e 30 acham-se os desdobramentos e observa-se que houve um efeito quadrático na concentração de potássio, em função dos níveis de pH, e efeito linear em função dos tratamentos.

Tabela 29 - Desdobramento das análises de variância do teor de potássio nos ramos do cafeeiro, em função dos níveis de pH.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	0.08881
Regressão Quadr.	1	0.72802*
Resíduo	27	0.14052

Na Figura 16, verifica-se que a concentração de potássio atingiu um valor máximo de 2,16% no pH estimado em 5.6.

A partir deste ponto inicia um decréscimo à medida que vai se aumentando os valores de pH. Estes resultados corroboram com os de AMORIN et alii (1968), os quais relatam que a absorção de potássio pelo cafeeiro diminui à medida que o pH se eleva.

Com relação aos efeitos prejudiciais da acidez no desenvolvimento vegetal, verificou-se que, em solução nutritiva, as plantas podem crescer satisfatoriamente em condições de grande variação de pH, desde que não haja toxidez ou deficiência de nutrientes, conforme é demonstrado no clássico trabalho de ARNON e JOHNSON

(1942).

Tabela 30 - Desdobramento da análise de variância do teor de potássio dos ramos do cafeeiro, em função dos tratamentos.

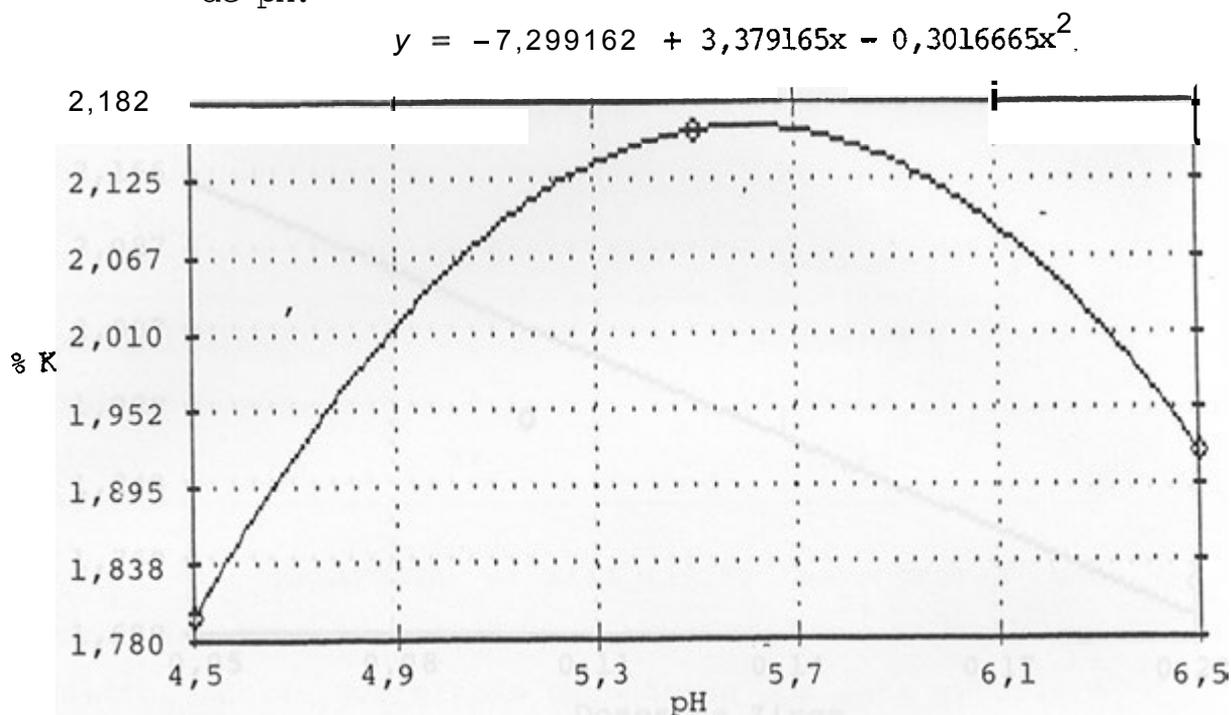
Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	1.20559*
Regressão Quadr.	1	0.17550
Resíduo	27	0.14052

A Figura 17 mostra a reta decrescente da concentração de potássio, à medida em que aumenta a aplicação de zinco no substrato.

PAULA (1975) relata que os teores de potássio são influenciados significativamente pela época de coleta e aplicações de zinco e boro.

Segundo WIDDOWSON (1966) não foi observado que plantas deficientes em zinco, acumulem potássio e nem que aplicações e pulverizações com zinco reduza o teor daquele elemento nas folhas, mediante diluição pelo crescimento da planta.

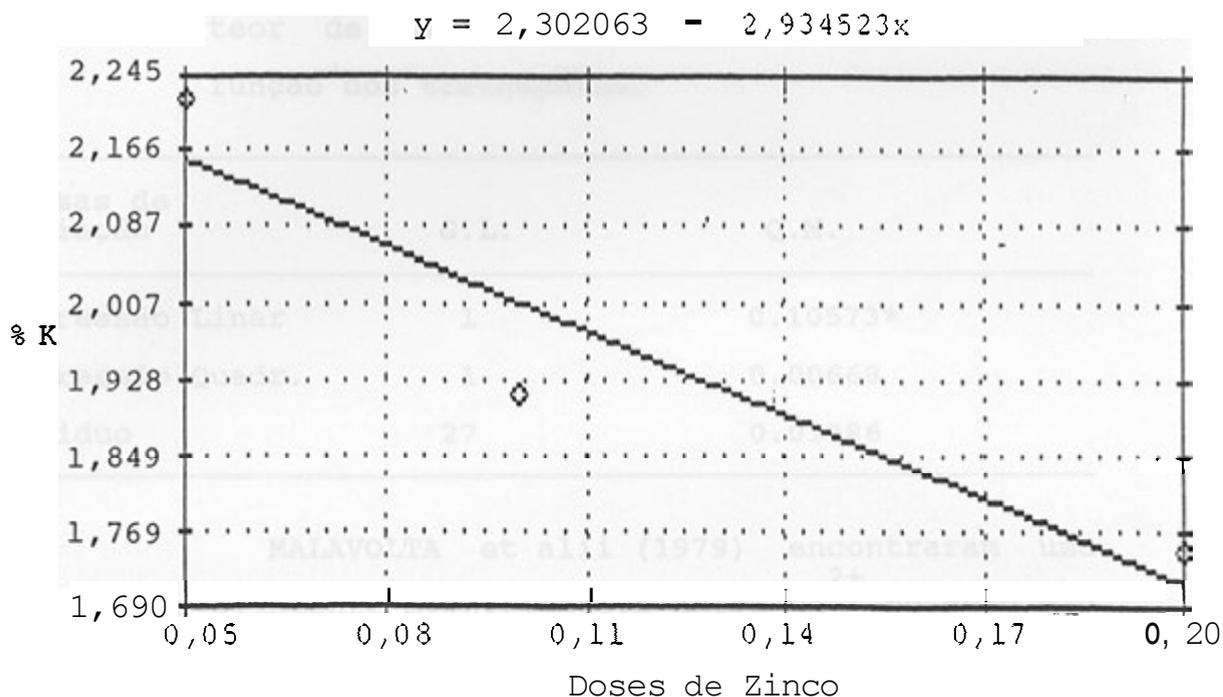
Figura 16 - Concentração de potássio em função dos níveis de pH.



Nas aplicações de zinco em folhas pulverizadas de plantas cítricas não houve influência da concentração de potássio (Labanauskas, 1969 conforme CAMARGO & SILVA, 1975).

SHUKLA & MUKHI, (1979) relatam uma relação triangular entre sódio, potássio e zinco, em plantas de milho, sendo que cada nutriente testado diminuiu a eficiência do outro no desenvolvimento e concentração no tecido.

Figura 17 - Concentração de potássio em função das doses de zinco para tratamentos.



### Cálcio

Os resultados obtidos referentes a análise de variância da concentração de cálcio nos ramos da planta, com base no peso da matéria seca em função dos tratamentos são apresentadas na Tabela 8.

Na Tabela 31 encontra-se o desdobramento e verifica-se que houve um comportamento linear, do teor de cálcio em função dos tratamentos. A Figura 18 mostra que houve um aumento linear da concentração de cálcio, conforme aumenta a aplicação do zinco na solução nutritiva.

Tabela 31 - Desdobramento das análises de variância, do teor de cálcio nos ramos do cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas-de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	0.10573*
Regressão Quadr.	1	0.00668
Residuo	27	0.01286

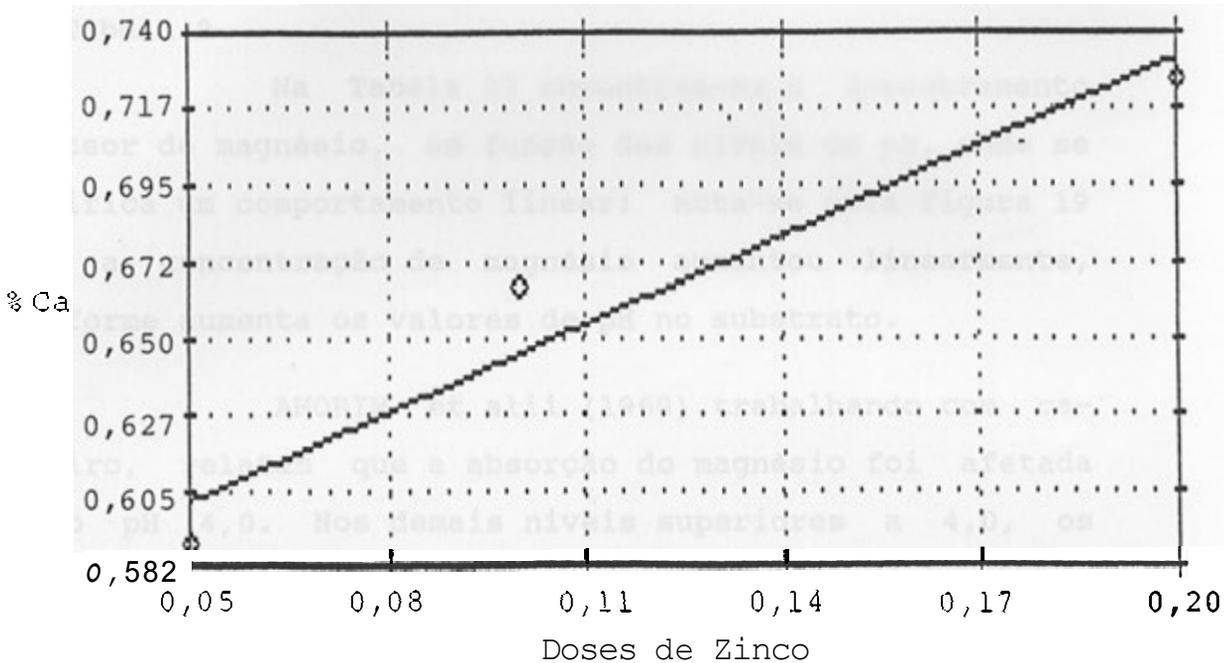
MALAVOLTA et alii (1979) encontraram uma correlação altamente significativa entre  $Ca^{2+}$  no solo e o cafeeiro. Esta correlação encontrada por este autor, é semelhante a do presente trabalho.

OLIVEIRA (1980) estudando fontes de Zn em cafeeiro, relata que na concentração de cálcio houve um comportamento linear descendente em função do logaritmo da dose de Zn aplicada.

FORESTIER e BELEY (1969), estudando os efeitos de alguns macronutrientes em cafeeiros robusta informam que nos teores foliares de cálcio houve aumentos significativos.

Figura 18 - Concentração de calcio em função das doses de zinco para tratamentos.

$$y = 0,5591667 + 0,8690472x$$



OVERSTREET et alii (1952) estudando aspectos do mecanismo de absorção de calcio e potássio, afirmam que a falta de um desses cations resulta na maior absorção do outro. Por outro lado MENGEL e ASKAY (1954) observaram em solução nutritiva que o calcio pode ou não apresentar efeito sobre o potássio inibindo ou estimulando a sua absorção.

#### Magnésio

Os resultados referentes à análise de va-

riância da concentração de magnésio nos ramos do cafeeiro, com base no peso da materia seca estão apresentados na Tabela 8.

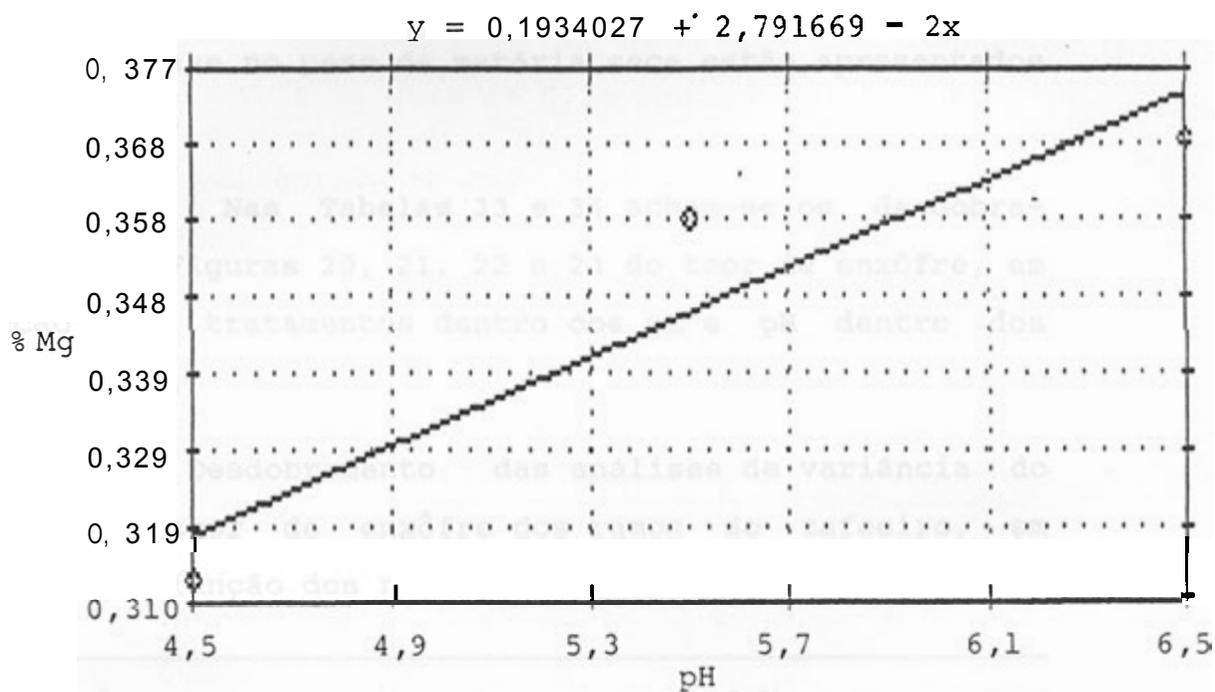
Na Tabela 32 encontram-se o desdobramento do teor de magnésio, em função dos níveis de pH, onde se verifica um comportamento linear; nota-se pela Figura 19 que a concentração de magnésio aumentou linearmente, conforme aumenta os valores de pH no substrato.

AMORIM et alii (1968) trabalhando com cafeeiro, relatam que a absorção do magnésio foi afetada pelo pH 4,0. Nos demais níveis superiores a 4,0, os teores de magnésio permaneceram constantes. Fato semelhante foi observado por ARNON et alii (1942), em tomateiro e alface.

Tabela 32 - Desdobramento das análises de variância do teor de magnésio dos ramos do cafeeiro, em função dos níveis de pH.

Causas de Variação	G.L	Q.M.
Regressão Linear	1	0.01870*
Regressão Quadr.	1	0.00233
Residuo	27	0.00418

Fig. 19 - Concentração de magnésio em função dos níveis de pH.



## Enxôfre

Os dados obtidos referentes a análise de variância da concentração de enxôfre dos ramos do cafeeiro, com base no peso da matéria seca estão apresentados na Tabela 8.

Nas Tabelas 33 e 34 acham-se os desdobramentos, e Figuras 20, 21, 22 e 23 do teor de enxôfre, em função dos tratamentos dentro dos pH e pH dentro dos tratamentos.

Tabela 33 - Desdobramento das análises de variância do teor de enxôfre dos ramos do cafeeiro, em função dos níveis de tratamento dentro dos pH.

Causas de Variação	G. L.	Q. M. pH		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	0.00380	0.00105	0.01822*
Regressão Quadr.	1	0.01200*	0.00140	0.00078
Resíduo	27	0.00085	0.00085	0.00085

A Figura 20 mostra um comportamento quadrático da concentração de enxôfre com um valor mínimo de 0.19% correspondendo a 0,14 ppm da aplicação de zinco e pH 4,5 no substrato. A partir desse ponto, a concentração

de enxôfre aumentou pela aplicação de zinco na solução nutritiva. Sendo  $ZnSO_4$  uma fonte de S não houve uma melhor absorção <sup>4</sup> ao mesmo devido talvez as doses iniciais terem sofrido uma diluição, só ocorrendo uma resposta crescente a partir da dose de 0,14 ppm.

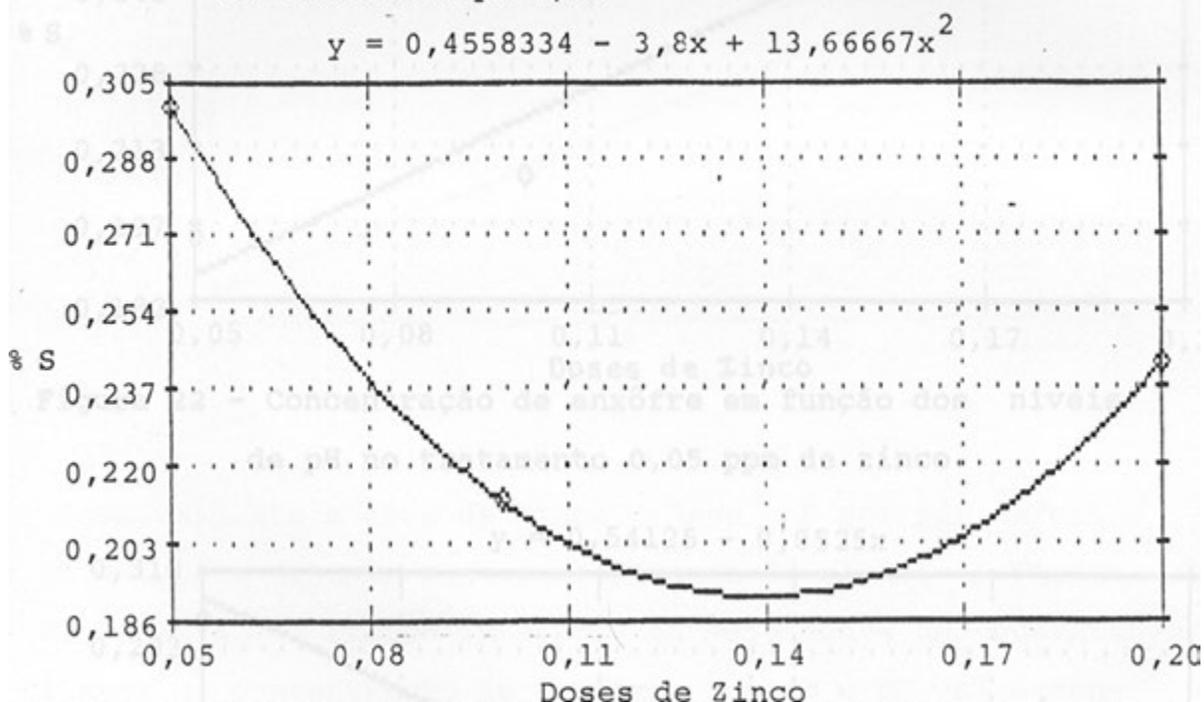
Tabela 34 - Desdobramento das análises de variância do teor de enxôfre dos ramos do cafeeiro, em função dos níveis de pH dentro dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M. TRATAMENTOS		
		0, 05	0, 10	0, 20
Regressão Linear	1	0.02205**	0.00005	0.00361*
Regressão Quadr.	1	0.00060	0.00106	0.00220
Resíduo	27	0.00085	0.00085	0.00085

Já CROCOMO e MENARD (1961) usando sulfato de potássio marcado em folhas de cafeeiro relatam que houve uma absorção e translocação do enxôfre principalmente nas partes jovens da planta. Por outro lado, a exemplo de RIVAS VASQUEZ (1969), foi observado que a pulverização com uréia não influencia a absorção e consequente acumulação de enxôfre pelo cafeeiro.

Na Figura 21 observa-se que os tratamentos dentro do pH 6,5, houve um efeito linear crescente na concentração de enxofre, pela aplicação de zinco na solução nutritiva.

Figura 20 - Concentração de enxofre em função de níveis de zinco com pH 4,5.



Já na Figura 22 mostra um decréscimo linear na concentração de enxofre à medida que vai aumentando os valores de pH dentro do tratamento 0,05 ppm de zinco.

Figura 21 - Concentração de enxôfre em função de níveis de zinco com pH 6,5.

$$y = 0,15625 + 0,6250001x$$

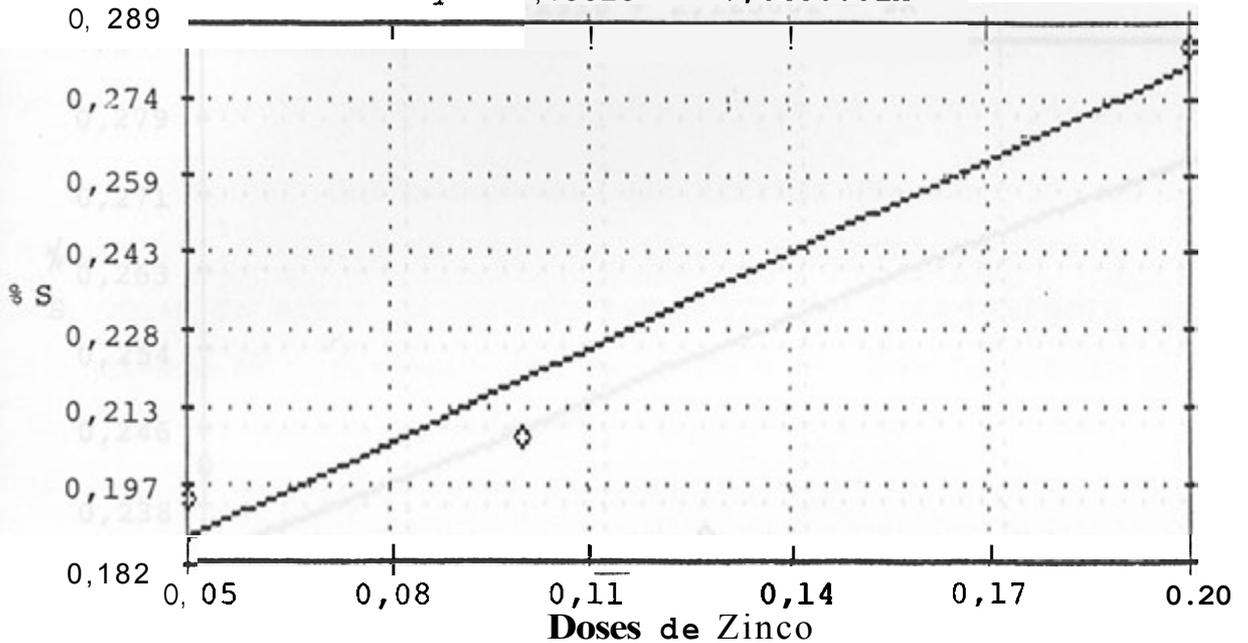


Figura 22 - Concentração de enxôfre em função dos níveis de pH no tratamento 0,05 ppm de zinco.

$$y = 0,54125 - 0,0525x$$

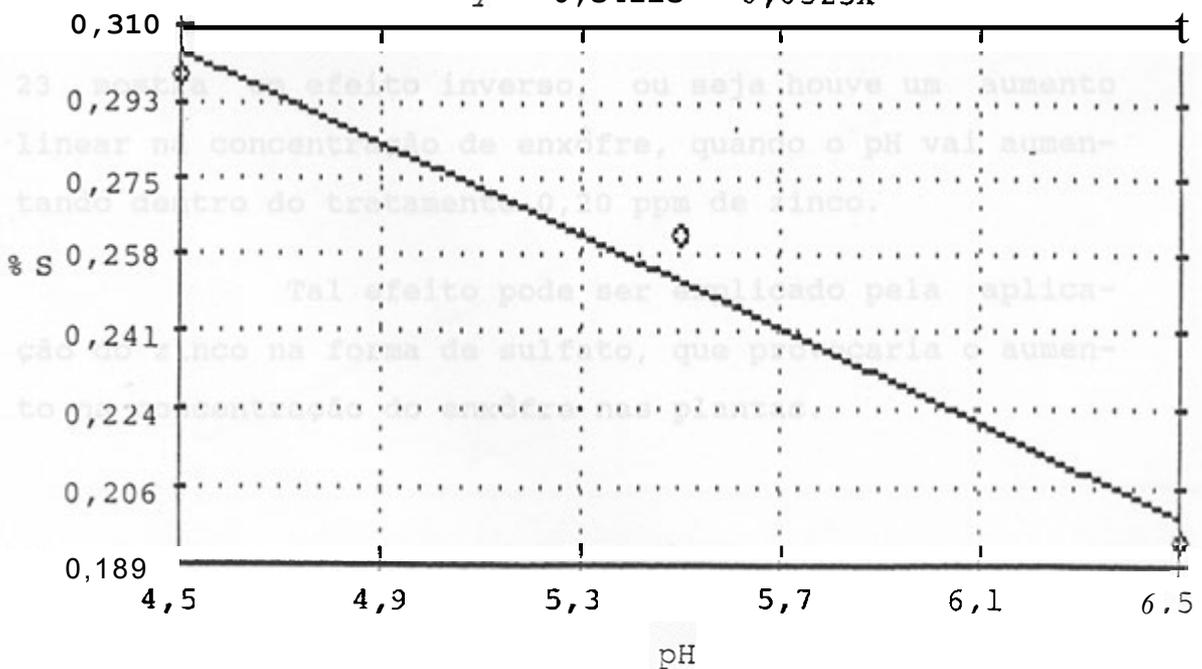
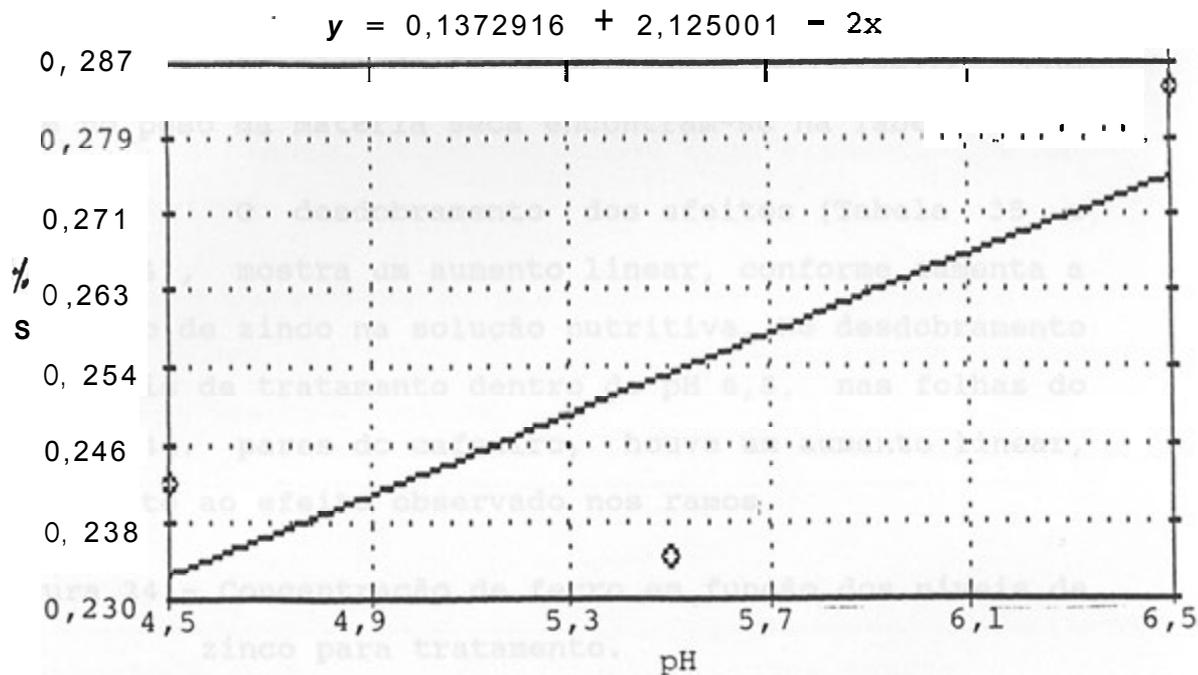


Figura 23 - Concentração de enxofre em função dos níveis de pH no tratamento 0,20 ppm de zinco.



Possivelmente a dose de zinco, deve ter sofrido efeito de diluição durante o desenvolvimento da planta. A Figura 23 mostra um efeito inverso, ou seja houve um aumento linear na concentração de enxofre, quando o pH vai aumentando dentro do tratamento 0,20 ppm de zinco.

Tal efeito pode ser explicado pela aplicação do zinco na forma de sulfato, que provocaria o aumento na concentração do enxofre nas plantas.



Esses resultados mostram que houve uma redistribuição do micronutriente com a aplicação das doses de zinco na solução nutritiva. MENARD (1956) citando Gile e Carrero (1916) relatam sobre a imobilidade do ferro na planta, considerando-o como elemento que não se redistribui.

Tabela 35 - Desdobramento das análises de variância de ppm de ferro dos ramos do cafeeiro em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	3296.66863*
Regressão Quadr.	1	90.05358
Resíduo	27	334.64814

### Boro

As análises de variância dos dados referentes a concentração de boro, nos ramos da planta, com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 12.

Na Tabela 36 e Figura 25 verifica-se o desdobramento mostrando um comportamento linear do boro, em função dos tratamentos.

Houve um decréscimo linear na concentração de boro, conforme aumenta a aplicação de zinco no substrato.

Provavelmente este decréscimo na concentração de boro, conforme aumenta as doses de zinco, possa ser explicado pela pouca mobilidade deste elemento na planta, e segundo CATANI et alii (1967) as folhas são os órgãos onde acumulam-se os teores mais altos desse micronutriente. Por outro lado talvez tenha sofrido a diluição durante o crescimento da planta e o período mais favorável de sua absorção.

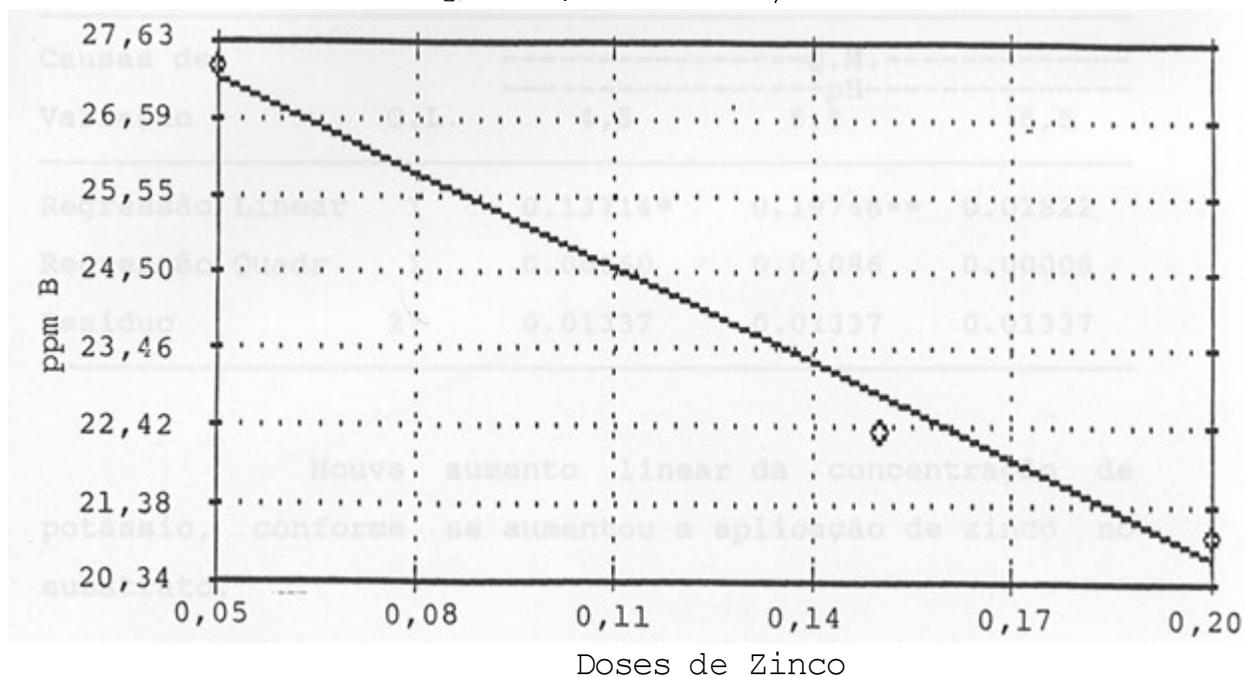
Tabela 36 - Desdobramento das análises de variância de ppm de boro dos ramos do cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	261.44642*
Regressão Quadr.	1	3.72023
Resíduo	27	21.62037

JONES e SCARSETH (1944) e MUHR (1942), informam que os efeitos do boro variam com a espécie estudada e as condições de trabalho experimental.

Figura 25 - Concentração de boro em função dos níveis de zinco para tratamentos.

$$y = 29,45834 - 43,21429x$$



#### 4.1.4 - Concentração de Nutrientes nos Caules

##### Potássio

As análises de variância dos dados referentes a concentração de potássio no caule do cafeeiro, com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 9.

Na Tabela 37 e Figuras 26 e 27, acham-se os desdobramentos, dos efeitos dos tratamentos, dentro de pH, nas concentrações de potássio nos caules.

Tabela 37 - Desdobramento das análises de variância do teor de potássio do caule do cafeeiro em função dos tratamentos dentro do pH.

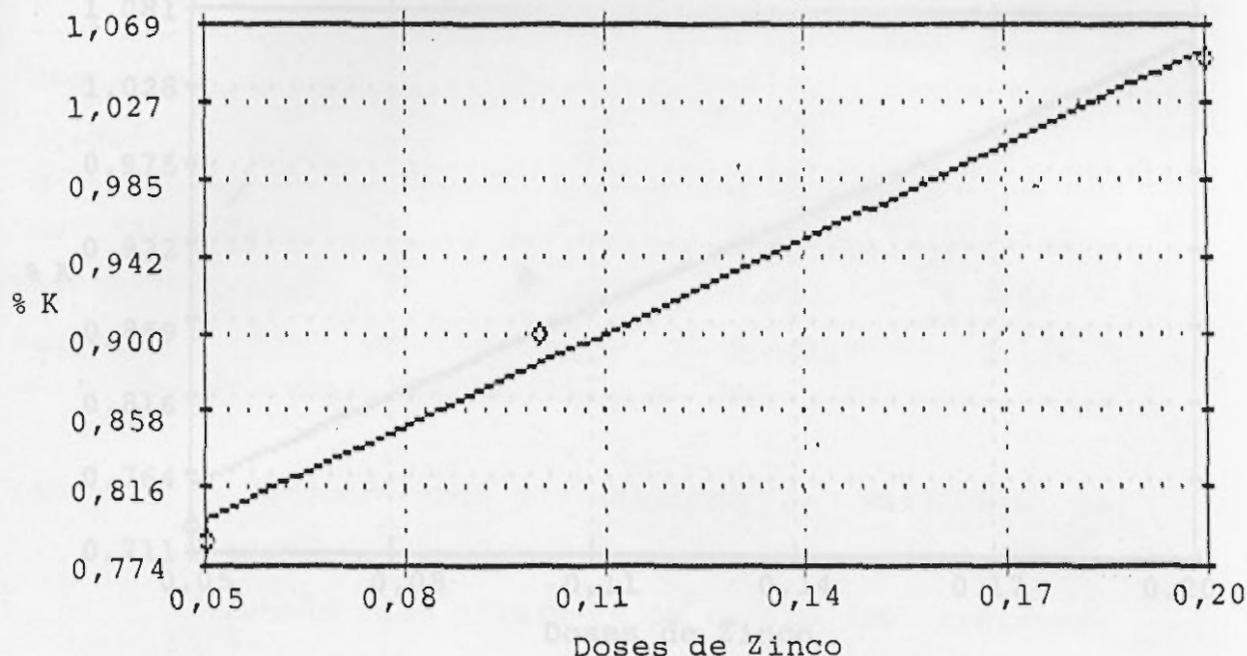
Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----pH-----		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	0.13714*	0.19748**	0.01822
Regressão Quadr.	1	0.00160	0.01086	0.00008
Resíduo	27	0.01337	0.01337	0.01337

Houve aumento linear da concentração de potássio, conforme se aumentou a aplicação de zinco no substrato.

PAULA (1975) estudando teores de varios elementos minerais em folhas de cafe, informa que há uma relação linear entre o nivel de zinco e o teor de zinco na planta. Ainda este autor, cita que os teores de potássio são influenciados significativamente pela época da coleta e aplicações de zinco e boro.

Figura 26 - Concentração de potássio em função dos níveis de zinco com pH 4,5.

$$y = 0,7125 + 1,714286x$$

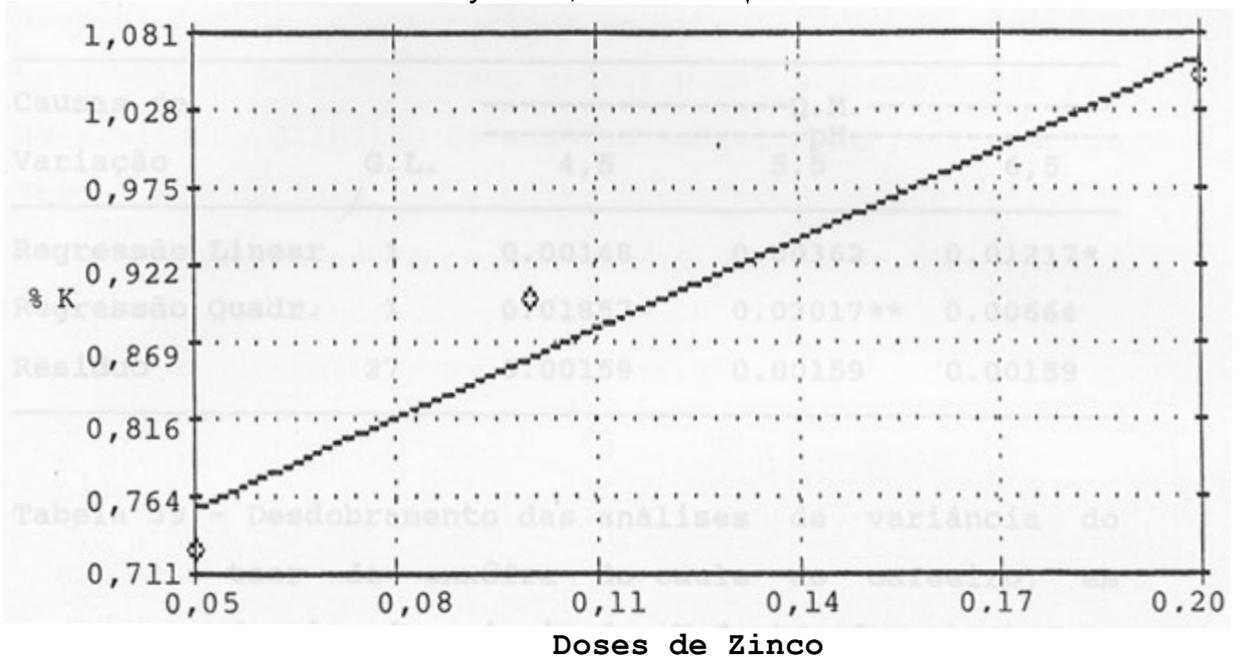


WEAR e PATTERSON (1965) verificaram efeito sinérgico do potássio na absorção do zinco, os quais atribuíram essa causa ao efeito indireto do potássio na relação fósforo-zinco.

Nas Tabelas 38 e 39 encontram-se os dados obtidos, em função dos tratamentos dentro dos pH; e pH dentro dos tratamentos, onde ocorreram efeitos lineares e quadráticos.

Figura 27 - Concentração de potássio em função dos níveis de zinco com pH 5,5.

$$y = 0,6525 + 2,057143x$$



### Enxôfre

Os resultados da análise de variância da concentração de enxôfre do caule do cafeeiro, com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 9.

Nas Tabelas 38 e 39 encontram-se os desdobramentos, em função dos tratamentos dentro dos pH; e pH dentro dos tratamentos, onde ocorreram efeitos lineares e quadráticos.

Tabela 38 - Desdobramento das análises de variância do teor de enxôfre do caule do cafeeiro em função dos tratamentos dentro do pH.

Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----pH-----		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	0.00148	0.00362	0.01217*
Regressão Quadr.	1	0.01857*	0.03017**	0.00664
Resíduo	27	0.00159	0.00159	0.00159

Tabela 39 - Desdobramento das análises de variância do teor de enxôfre do caule do cafeeiro, em função dos níveis de pH dentro dos tratamentos.

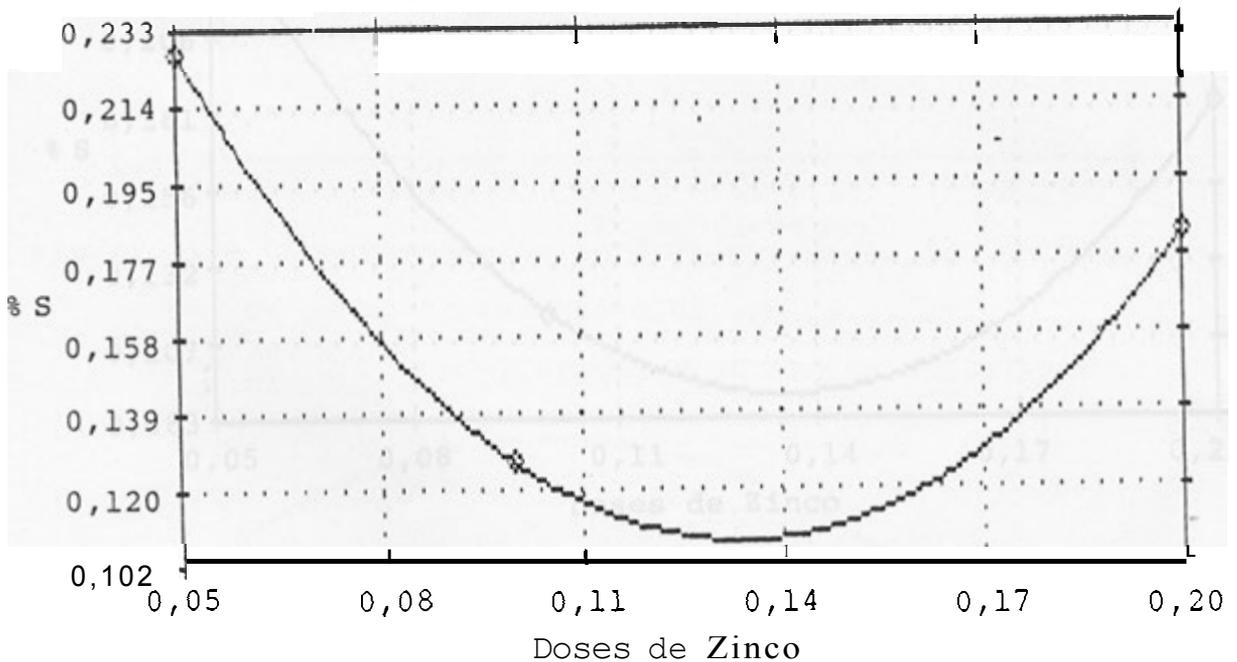
Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----TRATAMENTOS-----		
		0,05	0,10	0,20
Regressão Linear	1	0.03781	0.00361	0.00005
Regressão Quadr.	1	0.02100*	0.00260	0.00001
Redíduo	27	0.00159	0.00159	0.00159

Nas Figuras 28 e 29 correspondendo aos pH 4,5 e 5,5 observa-se uma semelhança nos efeitos. Houve decréscimo na concentração de enxôfre pela aplicação de

zinco, at& valores mínimos de 0,10 e 0,09% correspondendo a 0,13 ppm da aplicação de zinco no substrato. A partir desses pontos houve aumento na concentração de enxôfre pela adição de zinco. Isto talvez possa ser explicado por um efeito de diluição do enxôfre (adicionado na forma de  $ZnSO_4$ ) nos tecidos, pelo maior crescimento das plantas.

4  
Figura 28 - Concentração de enxôfre em função dos níveis de zinco com pH 4,5.

$$\bar{y} = 0,4125 - 4,55x + 17x^2$$

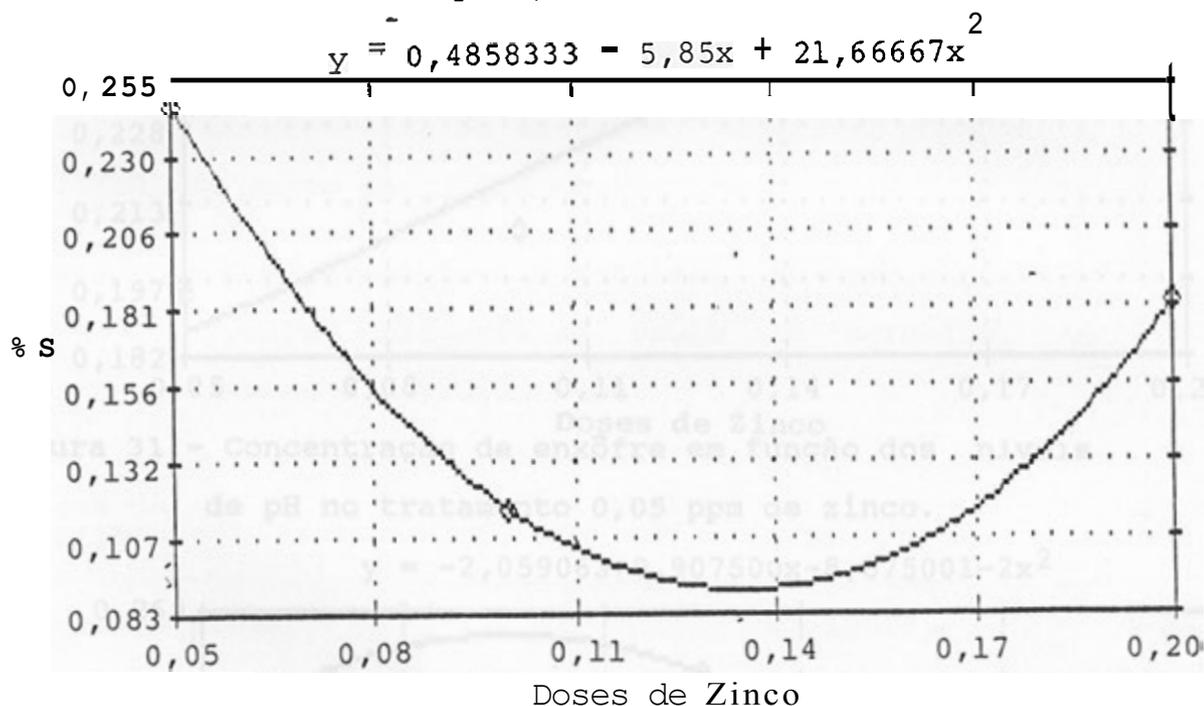


Observa-se na Figura 30 o aumento linear da concentração de enxôfre, conforme aumenta a aplicação de zinco no substrato.

Na Figura 31, verifica-se que o aumento do

pH aumenta a concentração de enxofre até um valor máximo correspondente a 0,26% a um valor de pH estimado em 5,1. A partir desse ponto o efeito é decrescente.

Figura 29 - Concentração de enxofre em função dos níveis de zinco com pH 5,5.



**AMORIM** et alii (1968) verificaram que a absorção de enxofre no cafeeiro diminuiu a medida em que o pH se eleva, e que nas raízes observaram um decréscimo mais acentuado quando os valores de pH aumentava, embora neste trabalho não foi analisado o sistema radicular.

Figura 30 - Concentração de enxôfre em função dos níveis de zinco com pH 6,5.

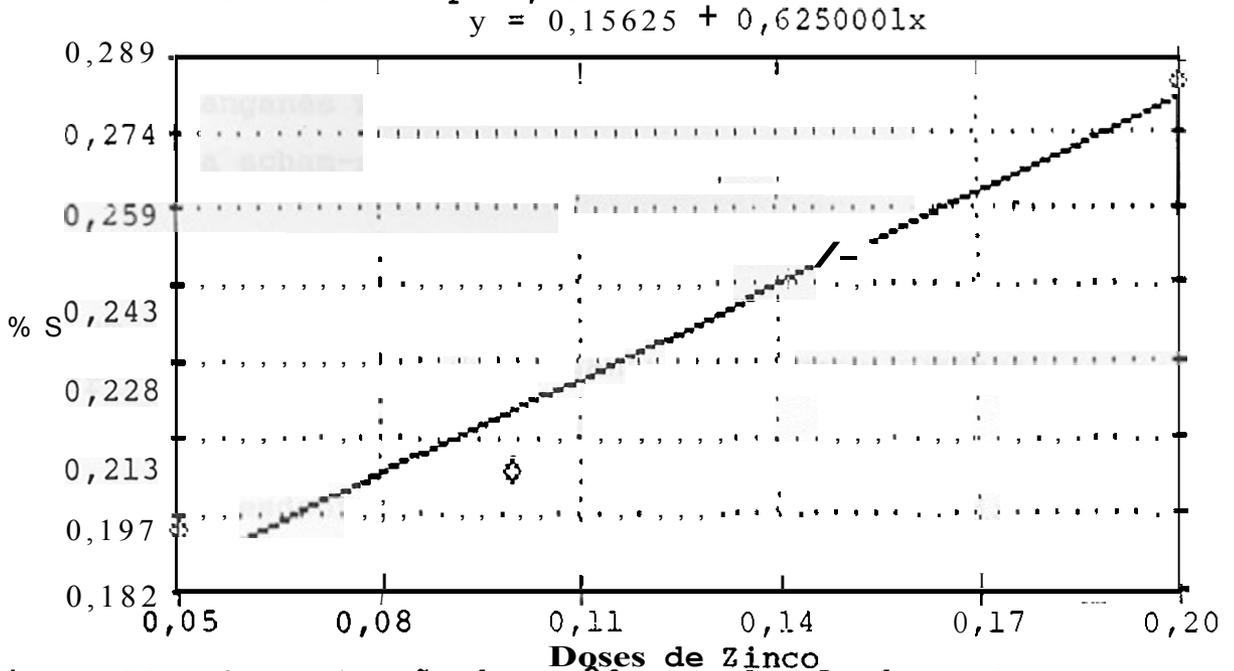
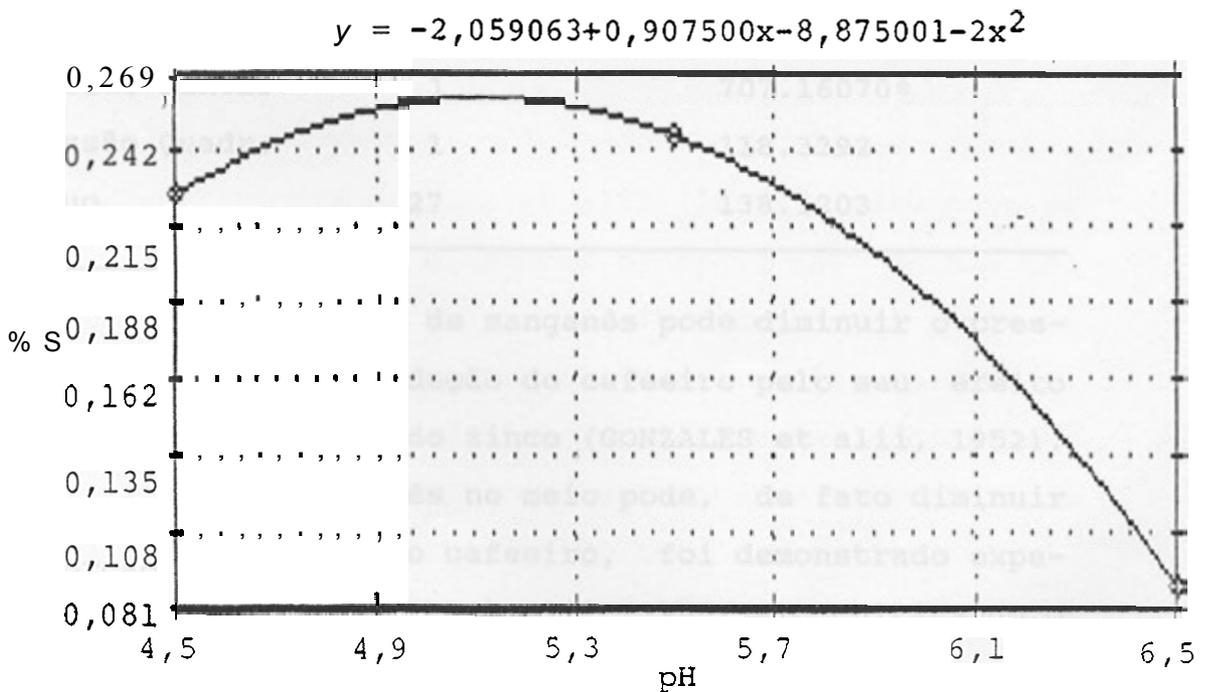


Figura 31 - Concentração de enxôfre em função dos níveis de pH no tratamento 0,05 ppm de zinco.



## Manganês

Os resultados obtidos referentes a concentração de manganês no caule da planta com base no peso da materia seca acham-se na Tabela 13.

Feito o desdobramento (Tabela 40 e Figura 32) em função dos tratamentos, verifica-se um aumento linear na concentração de manganês, conforme aumenta a aplicação de zinco na solução nutritiva.

Tabela 40 - Desdobramento das análises de variância de ppm de manganês do caule do cafeeiro, em função dos tratamentos.

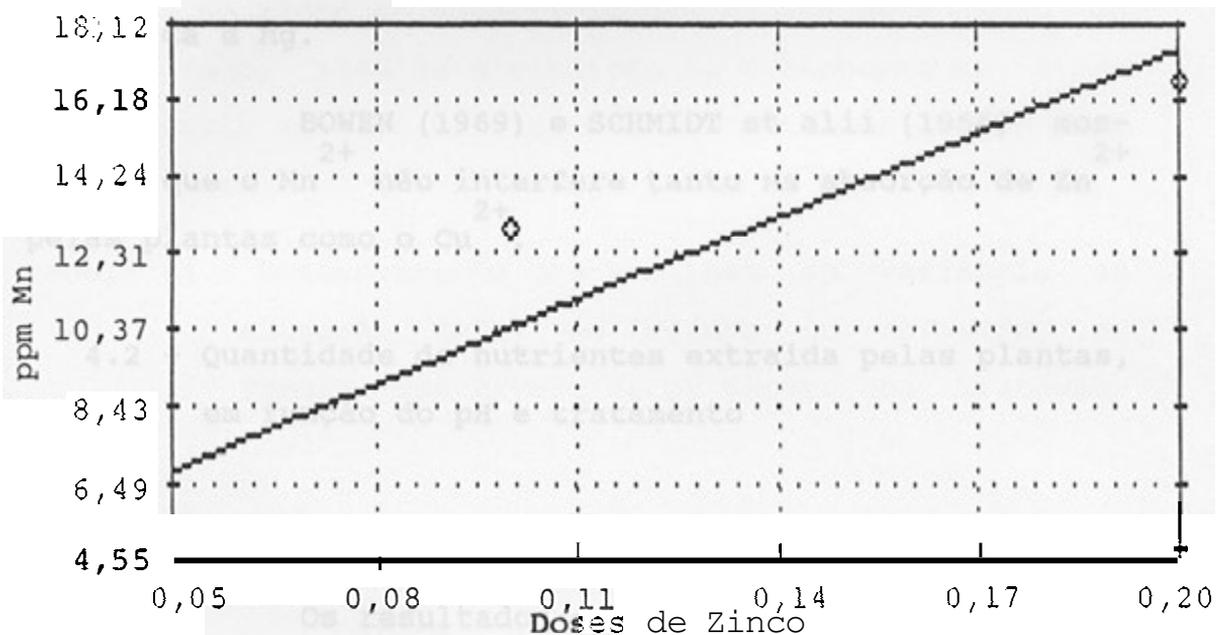
Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	707.16070*
Regressão Quadr.	1	118.3392
Residuo	27	138.1203

O excesso de manganês pode diminuir o crescimento e baixar a produção do cafeeiro pelo seu efeito antagônico na absorção do zinco (GONZALES et alii, 1952). Que o excesso de manganês no meio pode, de fato diminuir a absorção do zinco pelo cafeeiro, foi demonstrado experimentalmente por ARZOLLA et alii (1955/56), cultivando o

cafeeiro em solução nutritiva com diversos níveis de Mn e fornecendo-lhe  $Zn^{65}$  para melhor acompanhar a absorção.

Figura 32 - Concentração de manganês em função dos níveis de zinco para tratamentos.

$$y = 3,291667 + 71,07143x$$



SOUZA e SILVA et alii (1975), estudando as variações de alguns elementos minerais nas folhas do cafeeiro, observaram uma tendência ascensional para os teores de manganês, a medida que desenvolviam os frutos. Resultados contrários a destes autores, foram encontrados por CATANI et alii (1967b) que estudando a concentração de micronutrientes em cafeeiro durante o seu desenvolvimento, encontraram que o teor de manganês diminui na

formação do fruto até o período de maturação, embora isto possa ter ocorrido, tal fato se torna inconsistente uma vez que neste trabalho os frutos não foram analisados.

LOHNIS (1960) e MASS et alii (1969) relatam que há um efeito competitivo entre o manganês e cátions como o Ca e Mg.

BOWEN (1969) e SCHMIDT et alii (1965) mostraram que o  $Mn^{2+}$  não interfere tanto na absorção de  $Zn^{2+}$  pelas plantas como o  $Cu^{2+}$ .

#### 4.2 - Quantidade de nutrientes extraída pelas plantas, em função do pH e tratamento

##### Fósforo

Os resultados obtidos referentes a extração total do fósforo com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 14.

Feito o desdobramento nas Tabelas 41 e 42 e Figuras 33 e 34, observamos os efeitos quadráticos dos níveis de pH dentro dos tratamentos e dos tratamentos dentro dos pH. ..Nota-se que o comportamento quadrático do pH no tratamento 0,10 ppm de zinco, da quantidade extraída de P no pH 4,5 equivalente a 294 mg, até um mínimo

de 220 mg de P num pH calculado de 5,3. A partir deste valor inicia um aumento das quantidades acumuladas até atingir o maior acúmulo acima do pH 6,5.

MALAVOLTA (1980) relata que o fósforo causa: inibição não competitiva na absorção do  $Zn^{2+}$ , precipitação do zinco na superfície das raízes dependendo do pH do meio, além da diminuição no transporte de zinco para a parte aérea e diluição na concentração do zinco na matéria seca.

Tabela 41 - Desdobramento das análises de variância da extração total de fósforo no cafeeiro, em função dos níveis de pH dentro dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	-----Q.M.----- -----TRATAMENTOS-----		
		0,05	0,10	0,20
Regressão Linear	1	5095.452	13366.125	6311.261
Regressão Quadr.	1	4403.753	26893.808*	4376.698
Resíduo	27	7073.595	7073.595	7073.595

LOPEZ GOROSTIAGA (1972) trabalhando com raízes destacadas de cevada numa concentração de fosfato  $5 \times 10^{-3}$  M verificou que em relação ao pH, a absorção acompanhou o incremento do pH, e em geral a maior absor-

ção foi observada no pH 7.

Tabela 42 - Desdobramento das análises de variância da extração total de fósforo no cafeeiro, em função dos tratamentos dentro dos pH.

Causas de Variação		Q.M.		
		4,5	5,5	6,5
Regressão Linear	1	3676.421	6268.366	121.720
Regressão Quadr.	1	4815.578	2420.914	80924.810**
Resíduo	27	7073.5950	7073.5950	7073.595

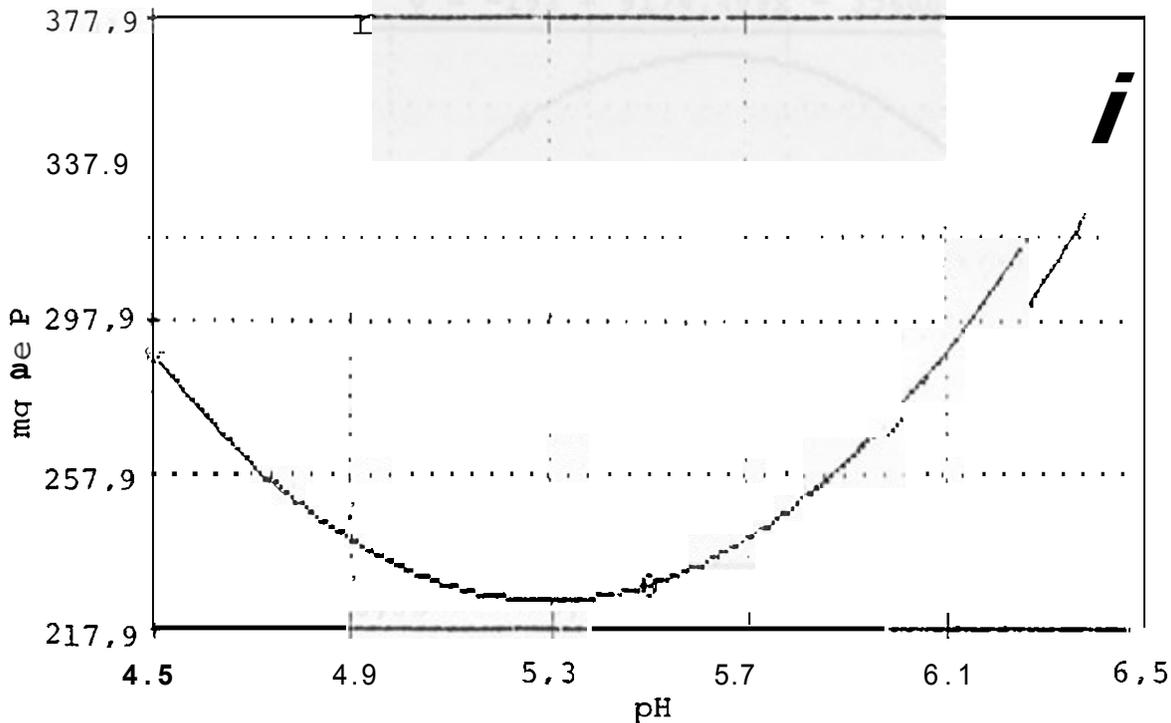
No **solo** STANTON e BURGER (1970) verificaram a redução da disponibilidade de P, que era grande até o pH 6,5.

Na Figura 34 nota-se o efeito quadrático do tratamento no pH 6,5. Verifica-se a maior absorção da quantidade de P no ponto máximo de 401 mg, correspondendo a 0,13 ppm da aplicação de zinco na solução nutritiva.

A partir deste ponto, o zinco começou a interferir nas quantidades de P absorvido. Tal fato pode ser atribuído a um efeito de diluição.

Figura 33 - Extração de fósforo em função dos níveis de pH no tratamento 0.10 ppm de zinco.

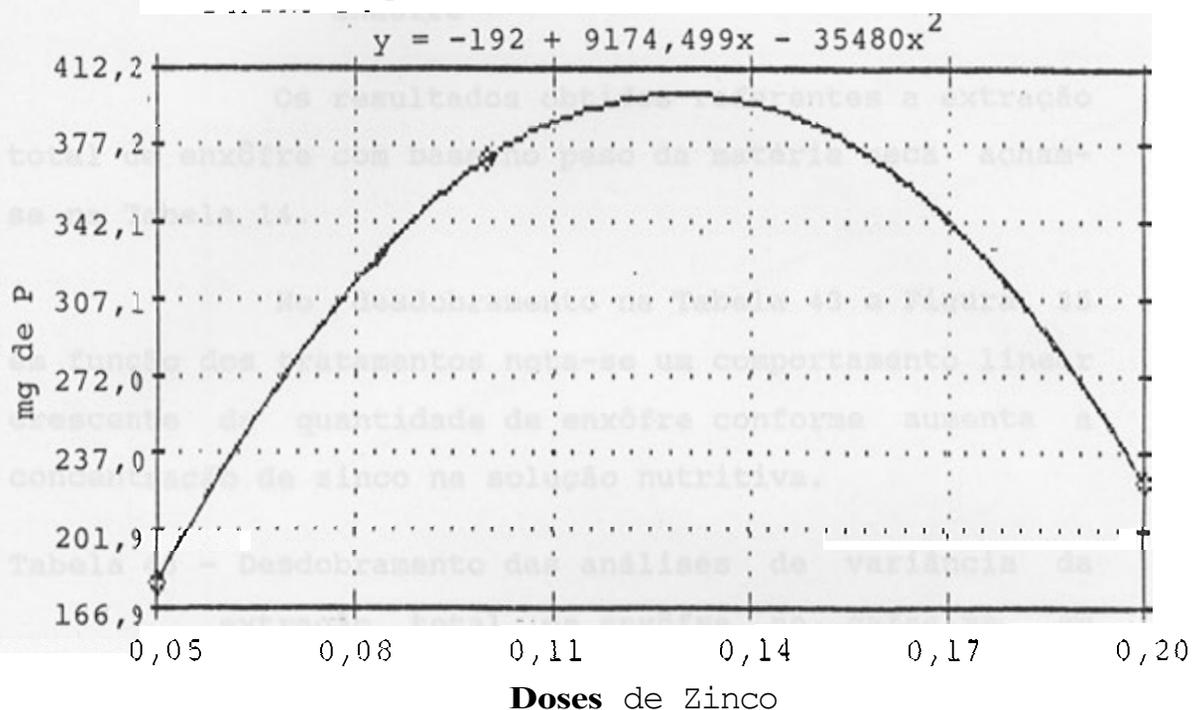
$$y = 3042,393 - 1063,7998657x + 100,42498779x^2$$



STANTON e BURGER (1970) encontraram uma significativa diminuição na concentração do Zn pelo P, sendo o efeito mais marcado quando o pH do solo era de 6,5.

LOPEZ GOROSTIAGA e MALAVOLTA (1974) relatam o efeito de diluição mediante a concentração de P, em que a taxa de absorção de zinco não acompanha o desenvolvimento das plantas. Ainda estes autores relatam o efeito do fósforo na translocação do zinco.

Figura 34 - Extração de fósforo em função dos níveis de zinco em pH 6,5.



Segundo OLSEN (1972) um efeito do fósforo na absorção do zinco pelas plantas, no qual o fósforo atua no sítio de absorção ou, limitando a translocação ou mesmo a utilização do zinco pelas plantas, parece ser uma hipótese mais satisfatória.

LANGIN et alii (1962) e GARINON et alii (1969), confirmam que a interação entre o P e o Zn, está relacionada a um mecanismo antagônico na absorção.

## Enxôfre

Os resultados obtidos referentes a extração total de enxôfre com base no peso da matéria seca acham-se na Tabela 14.

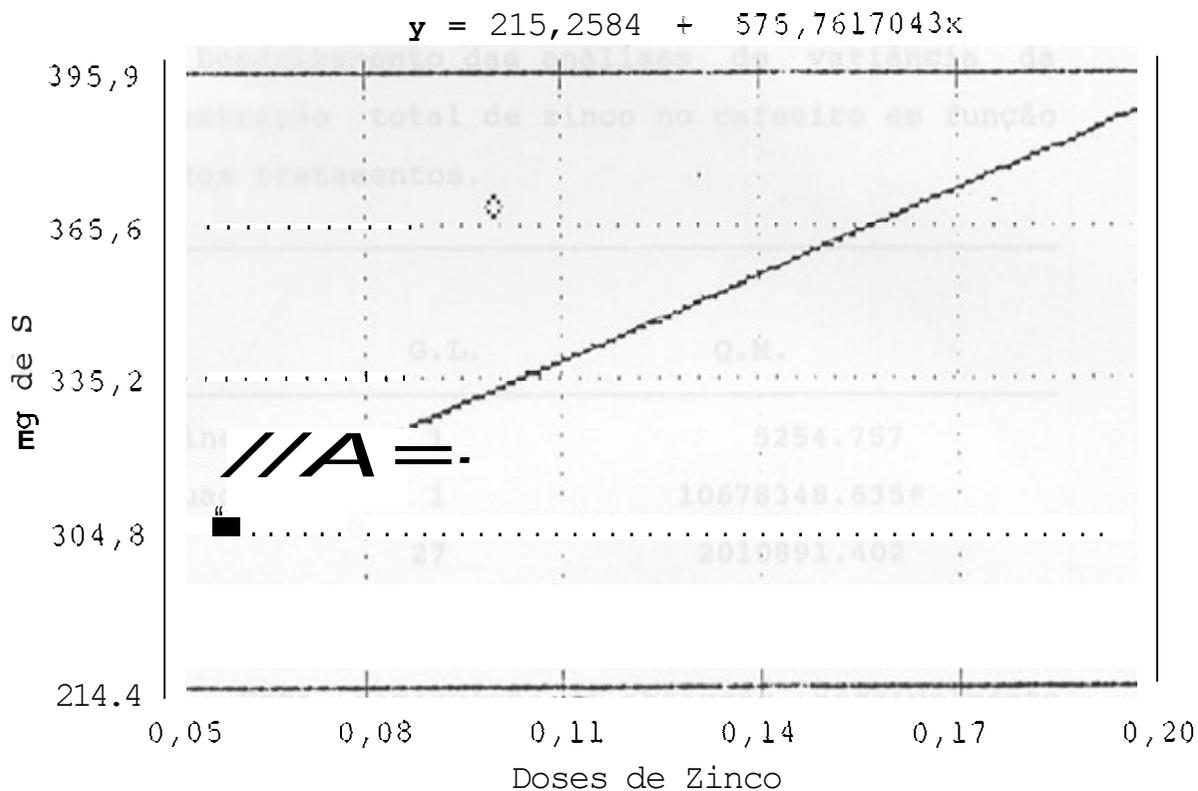
No desdobramento na Tabela 43 e Figura 35 em função dos tratamentos nota-se um comportamento linear crescente da quantidade de enxôfre conforme aumenta a concentração de zinco na solução nutritiva.

Tabela 43 - Desdobramento das análises de variância da extração total de enxôfre no cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	46410.217*
Regressão Quadr.	1	24403.692
Residuo	27	11966.591

Isto pode ser explicado pela aplicação de zinco na forma de sulfato, que provocaria o aumento do enxôfre nas plantas.

Figura 35 - Extração de enxofre em função dos níveis de zinco para tratamentos.



### Zinco

Os resultados obtidos referentes a extração total de zinco com base no peso da matéria seca encontram-se na Tabela 15.

Feito o desdobramento (Tabela 44 e Figura 36) em função dos tratamentos, verifica-se um efeito quadrático, onde a quantidade de zinco extraída atingiu o ponto máximo de 4656 microgramas, correspondendo a 0,13

ppm da aplicação de zinco. A partir desse ponto inicia um decréscimo da concentração de zinco na planta.

Tabela 44 - Desdobramento das análises de variância da extração total de zinco no cafeeiro em função dos tratamentos

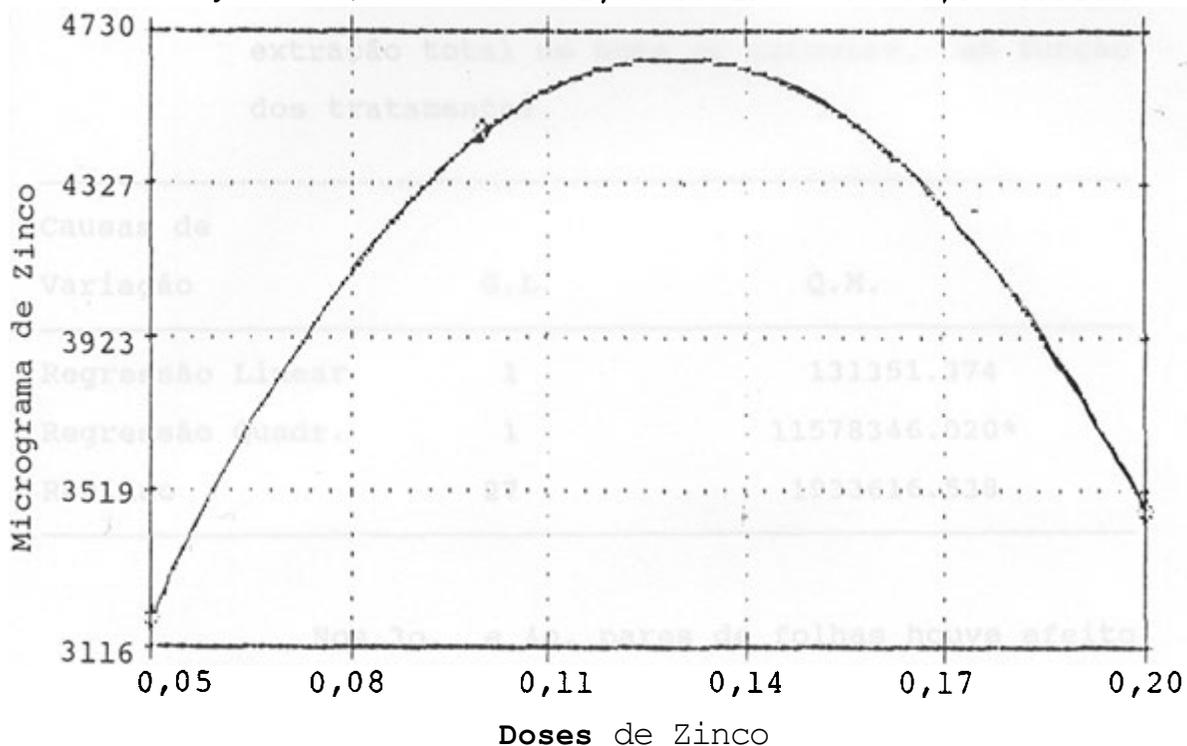
Causas de Variação	G.L	Q.M.
Regressão Linear	1	5254.757
Regressão Quadr.	1	10678348.635*
Resíduo	27	2010891.402

Esta diminuição da absorção possivelmente pode ser explicada pelo crescimento da planta pela diluição.

STUKENHOLTZ et alii (1966); SHARMA et alii (1968a,b) e PAULSEN & ROTIMI (1968) demonstraram que o fósforo não tem efeito inibitório na translocação de Zn. Esse efeito foi sugerido ao encontrar-se que a absorção de Zn não é afetada pelo fosfato, sendo entretanto, a concentração de Zn nas folhas mais reduzida que a da raiz. WARNOCK (1970) também encontrou que o P reduz a relativa mobilidade do Zn dentro da planta.

Figura 36 - Extração de zinco em função dos níveis de zinco para tratamentos.

$$y = 742,1423 + 60701,1575071x - 235306,63446315x^2$$



Boro

Os resultados referentes da extração total de boro, com base no peso da matéria seca acham-se na Tabela 15.

No desdobramento (Tabela 45 e Figura 38) em função dos tratamentos, observa-se um efeito quadrático, atingindo o ponto máximo de 4569 microgramas extraído, correspondendo a 0,13 ppm de zinco, onde a partir desse ponto inicia um decréscimo da concentração do nutriente

na solução nutritiva.

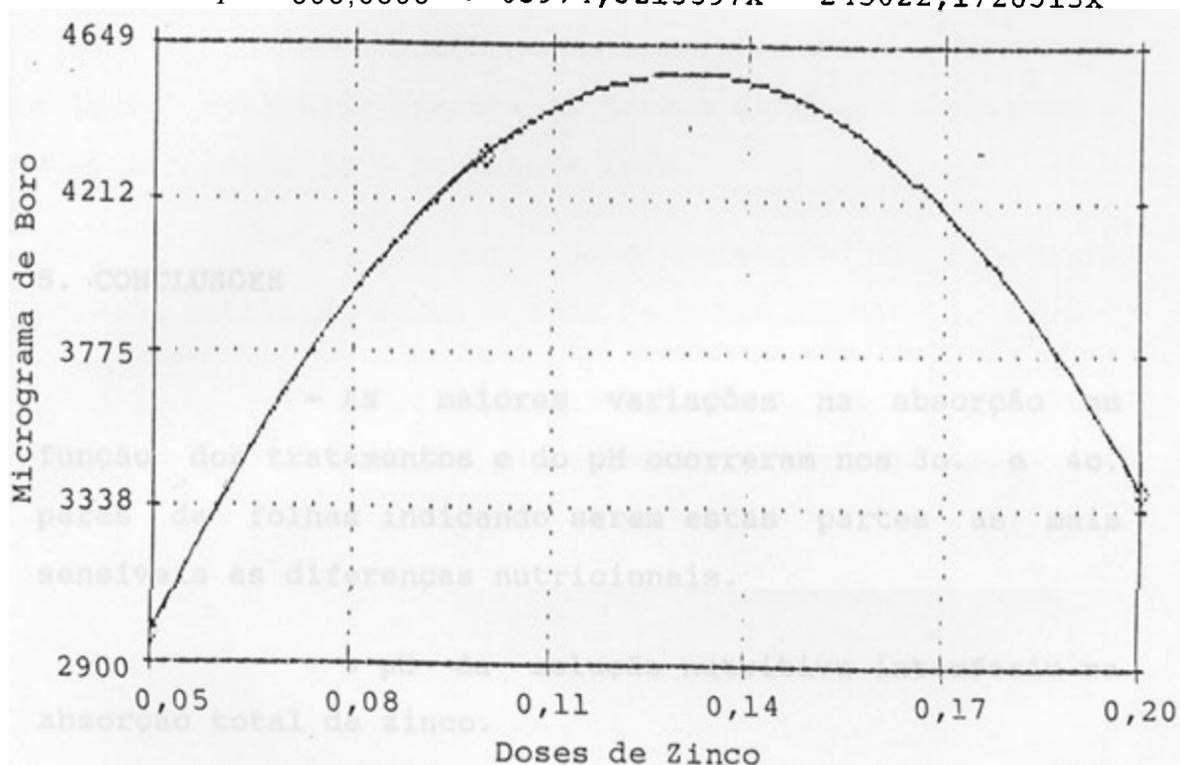
Tabela 45 - Desdobramento das análises de variância da extração total de boro no cafeeiro, em função dos tratamentos.

Causas de Variação	G.L.	Q.M.
Regressão Linear	1	131351.374
Regressão Quadr.	1	11578346.020*
Resíduo	27	1933616.538

Nos 30. e 40. pares de folhas houve efeito semelhante do boro para os tratamentos, na concentração de 0,13 ppm de zinco na solução. Nesta concentração os outros nutrientes promoveram aumentos na produção de matéria seca, sem que a planta absorvesse mais alguns nutrientes.

Figura 37 - Extração de boro em função dos níveis de zinco para tratamentos.

$$Y = 393,6893 + 63974,3215597x - 245022,1726313x^2$$



é a quantidade de S na planta toda.

## 5. CONCLUSOES

- **As** maiores variações na absorção em função dos tratamentos e do pH ocorreram nos 30. e 40. pares de folhas indicando serem estas partes as mais sensíveis às diferenças nutricionais.

- o pH da solução nutritiva interferiu na absorção total de zinco.

- o teor de zinco nos 30. e 40. pares de folhas é diretamente proporcional à concentração do zinco na solução nutritiva.

- A concentração de fósforo nos 30. e 40. pares de folhas do cafeeiro é função quadrática crescente da aplicação de zinco no substrato, com valores máximos estimados de 0,205% de fósforo e 0,14 ppm de zinco.

- A quantidade de fósforo extraída pelo cafeeiro, diminui nos 30. e 40. pares de folhas do

cafeeiro quando a concentração de zinco aumenta na solução nutritiva, a partir de 0,13 ppm em pH 6,5.

- O aumento da concentração do  $ZnSO_4$  na solução nutritiva aumenta os teores de Ca e Fe nos ramos e a quantidade de S na planta toda.

- O aumento da concentração de zinco na solução nutritiva reduz o teor de K nos ramos.

- A absorção de boro é ascendente até 0,13 ppm de zinco na solução, decrescendo daí em diante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAYI, E.A., 1970. Soil-plant nutrient relationships in tree crops with special reference to coffee: a review. Turrialba, 20(4): 463-70.
- AIYAR, S.P., 1946. Effects of phosphate deficiency on rice. Proceeding Indian Academic Science, 23B, 165-193. Apud Chemical Abstracts, 40: 7473.
- AMBLER, J.E.; BROWN, J.C. e GAUCH, H.G., 1970. Effect of zinc on translocation of iron on soybean plants. Plant Physiology, 46: 320-23.
- AMORIN, H.V. de; SCOTON, L.C.; HAAG, H.P. e MALAVOLTA, E., 1968. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XX. Efeito da variação do pH no desenvolvimento e composição química do cafeeiro (Coffea arabica L. var. Mundo Novo) cultivado em solução nutritiva. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quei-

roz", Piracicaba, 25: 121-35.

ANANTH, B.R.; IYENGAR, B.R.V. e CHOKKANNA, N.G., 1965. Widespread zinc in coffee in India. Turrialba, 15(2): 81-87.

ANSTEAD, R.E. e PITTOCK, C.K., 1913. The varying composition of the Coffee berry at different stages of its growth and its relation to the manuring of coffee estates. Planteris chronicle, Coimbatore, 8(36): 455-460.

ARNON, D.I. e JOHNSON, C.M., 1942. Influence of hydrogen ion concentration on the growth of higher plants under controlled conditions. Plant Physiology, Rockville, 17: 525-39.

ARZOLLA, J.D.P., 1955. Contribuição ao estudo da absorção e da translocação do radiozínco no cafeeiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 38p. (Tese de Doutorado).

ARZOLLA, J.D.P.; HAAG, H.P. e MALAVOLTA, E., 1955/1956. Nota preliminar sobre a absorção e a translocação do radiozínco no cafeeiro (Coffea arabica) cultivado em **solução** nutritiva. Anais da Escola W- a r de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 12/13: 113-120.

ARZOLLA, S.: GOMES, L.: SARRUGE, J.R.; ANDRADE, R.G.;

- GRANER, E.A. e MALAVOLTA, E., 1963. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. X. Extração de macronutrientes na colheita pelas variedades "Mundo Novo" "Caturje Amarelo", Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 20: 41-52.
- AVILAN, L., 1971. Variaciones de los niveles de nitrogênio, fósforo, potássio y calcio en las hojas de mango (Mangifera indica L.) através de un ciclo de producción. Agronomía Tropical, Maracay, 21(1): 3-10.
- BAHIA, F.G.F.T.C. e BRAGA, J.M., 1974. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco em dois solos de Minas Gerais. Revista Ceres, Viçosa, 21(115): 167-192.
- BIDDULPH, O. e WOODBRIDGE, E., 1952. The uptake of phosphorus by bean plants with particular reference of iron. Plant Physiology, 27: 431-43.
- BLANCO, H.G., 1970. Estudos sobre absorção de zinco por folhas de cafeeiro (Coffea arabica L.). ESALQ/USP, Piracicaba, (Tese de Doutorado). 77p.
- BLANCO, H.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, D. de A. e SARRUGE, J.R., 1972a. Absorção de zinco por tecido foliar de cafeeiro (Coffea arabica L.). Arquivos do Instituto

biológico, São Paulo, **39(1)**: 1-12.

BLANCO, H.G.; OLIVEIRA D. de A. e HAAG, H.P., 1972b. Absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiro (Coffea arabica L.). 11. Efeitos de diferentes compostos de zinco e do pH da solução externa. Arquivos & Instituto Biológico, São Paulo, **39(1)**: 13-18.

BOAWN, L.C.; VIETS JR., F.G.; CRAWFORD, C.L. e NELSON, J.L., 1960. Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate, and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes and sugar beets. Soil Science, Baltimore, **90**: 329-337.

BOAWN, L.C. e LEGGETT, G.E., 1964. Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. Proceedings. Soil Science Society of America. **28**: 229-32.

BONNET, J.A., 1969. Influence of varieties and seasons upon the mineral nutrient levels of Coffee leaves from Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, Rio Piedras, **53(3)**: 177-186.

BOWEN, J.E., 1969. Absorption of copper, zinc, and manganese by sugar cane tissue. plant Physiology, **44**: 255-61.

- BRAGA, J.M., 1980. Avaliação da Fertilidade do solo. 11. Análise química, Imprensa Universitaria, Viçosa, 37p.
- BRASIL, MINISTERIO DA INDUSTRIA E COMERCIO., 1974. Cultura do café no Brasil; Manual de recomendações. Rio de Janeiro, IBC, 261p.
- BRASIL, MINISTERIO DA INDUSTRIA E DO COMERCIO., 1986. Anuário Estatístico do Café. Rio de Janeiro, Coordenadoria de Estudos da Economia Cafeteira, Instituto Brasileiro do Café. 128p.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; FREIRE, O.; ABRAHÃO, I.O; e MARCONI, A., 1979. Zinco no solo e na planta. Revista da Agricultura, Piracicaba, 54(3): 139-148.
- BRODA, E., 1965. Mechanism of uptake of trace elements by plants (experiments with radiozinc). In: Isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies. Proceedings of a symposium, Ankara. Vienna, IAEA, p. 207-216.
- BROWN, A.L.; YAMAGUCHI, S. e LEAL-DINIZ, J., 1965. Evidence for translocation of iron in plants. plant Physiology, Lancaster, 40: 35-38.
- BUKOVAC, M. e WITTWER, S.H., 1957. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. Plant Physiology, Lancaster, 32: 428-435.

- CAMARGO, T. de; BOLLIGER, R. & MELLO, P.C. de, 1937. Fisiologia Vegetal. Sobre a influência da concentração em ions hidrogênio do meio de cultura sobre o desenvolvimento do cafeeiro (Coffea arabica L.). Boletim Técnico IAC no. 3, Campinas, S.P.,
- CAMARGO e SILVA., 1975. Manual de Adubação Foliar. Editora e Distribuidora Herba, São Paulo, 258p.
- CANNEL, M.G.R. e KIMEV, B.S., 1971. Uptake and distribution of macronutrient in trees of Coffea arabica L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. Annals of applied Biology, Cambridge, **68(2)** : 213-230.
- CARROL, M.D. & LONERAGAN, J.R., 1968. Response Of plant species to concentration of zinc content of plants. Australian Journal of Agronomy Research, **19**; 859-68.
- CARVAJAL, J.F.; LOPES, C.A. & ACEVEDO, A., 1963. Efecto del pH del substrato en el crecimiento y absorción del café. Revista de Biología Tropical. **11**: 141-155.
- CARVAJAL, J.F.; ACEVEDO, A. e LOPES, C.A., 1969. Nutrient uptake by the Coffee tree during a yearly cycle. Turrialba , **19(1)**: 13-20.
- CATANI, R.A. e MORAES, F.R.P. de., 1958. A composição

química do cafeeiro. Revista de Agricultura, Piracicaba, 35: 45-52.

CATANI, R.A.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.; GLORIA, N.A. da e GRANER, C.A.F., 1965. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelo cafeeiro, Coffea arabica var. Mundo Novo (B.Rodr.) Chaussy aos dez anos de idade. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 22: 81-93.

CATANI, R.A.; PELEGRINO, D.; BITTENCOURT, V.C.; JACINTHO, A.O. e GRANER, C.A.F., 1967a. A concentração e quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, Coffea arabica L., variedade Mundo Novo (B.Rodr.) Chaussy, aos dez anos de idade. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 24: 97-106.

CHAUDHRY, F.M. & SHARIF, M., 1974. Micronutrient problems of crops in Pakistan with special reference to zinc and copper deficiency in rice production. In: Isotope aided micronutrient studies in rice production with special reference to zinc deficiency. FAO/IAEA, Viena, p. 1-24.

CHAVERRI, R.G.; BORNEMISZA, S.E. e CHAVES, S.F., 1957.

Resultados del análisis foliar del cafeto em Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias, 39p. (Informe técnico, no. 3).

CHAVES, J.C.D., 1982. Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (Coffea arabica L. cv. Catuai), Piracicaba, ESALQ/USP, 131p. (Dissertação de Mestrado).

CHEBABI, R.A. & GONÇALVES, J.C., 1970. Deficiências minerais de cafeeiro. Campinas, CATI, 28p. (Boletim Técnico SCR, 56).

CHOKKANNA, N.G., 1965. Factores que limitam la producción de café. Span, 3(1): 30-33.

CHRISTENSEN, N.W. e JACKSON, T.L., 1982. Potential for phosphorus toxicity in zinc stressed corn and potato. Journal Soil Science of America. Madison, 45(5): 904-909.

CLELAND, R., 1960. Effect of auxin upon **loss of** calcium from cell walls. Plant Physiology, Washington, 35: 581-584.

CRAFTS, A.S., 1961. Translocation in plants. New York, Holt, Rinehart and Winston, 182 p.

- CRAFTS, A.S. e CRISP, C.E., 1971. Phloem transport in plants. San Francisco, Freeman, 481 p.
- CROCOMO, O.J. e MENARD, L.N., 1961. Estudo sobre a **distribuição**  
35  
**S** em cafeeiro (Coffea arabica L. var. Borbon). Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 18: 169-82.
- DAFERT, F.W., 1985. Sobre as substâncias minerais do cafeeiro. Relatório do Instituto Agronômico de 1888 a 1893, Campinas: 183-203.
- ELLIS, R.; DAVIS, J.F. e THURLOW, D.L., 1964. Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and. Proceedings Soil Science Society of America, 28: 83-86.
- EPSTEIN, E., 1972. Mineral nutrition of plants. Principles and perspectives. New York, John Wiley & Sons, 412p.
- EPSTEIN, E., 1975. Nutrição Mineral — plantas: princípios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. São Paulo, EDUSP, 341p.
- FAGERIA, H.K. e ZIMERMANN, F.J.P., 1979. Interação entre fósforo, zinco e calcário em arroz de sequeiro. Revista Brasileira de Ciência a Solo, Campinas, 3(2): 88-92.

- FRANCO, C.M. & LOOMIS, W.E., 1947. The absorption of phosphorus and iron from nutrient solutions. Plant Physiology, Rockville, 22: 627-34.
- FRANCO, C.M. & MENDES, H.C., 1949. Sintomas de deficiências minerais no cafeeiro. Bragantia, Campinas, 9: 9-12.
- GANIRON, R.B.; ADRIANO, D.C.; PAULSEN, G.M. e MURPHY, L.S., 1969. Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interation in corn. Proceedings. Soil Science Society of America, 33: 306-309.
- GUBLER, C.J., 1956. Absorption and Metabolism of Iron. Science, Lancaster, 123:87-90.
- GUTKNECHET, J., 1961. Mechanism of radioactive zinc uptake by *Ulva lactuca*. Limnology and Oceanography, Washington, 6: 426-31.
- GUTKNECHET, J., 1963. <sup>65</sup>Zn uptake by benthic marine algae. Limnology and Oceanography, Washington, 8: 31-8.
- HAAG, H.P. e SARRUGE, J.R., 1965. Absorção de zinco por raízes destacadas de cafeeiro (Coffea arabica L. var. Mundo Novo). Garcia de Orta, 13: 589-596.
- HAAG, H.P. & SARRUGE, J.R., 1967. Uptake of zinc by detached root of young coffee trees (Coffea arabica

- L., variety Mundo Novo). Fertilite, Paris, 29:13-22,
- HEWITT, E.J., 1963. The essential nutrient elements: requirements and interactions in plants. In: STEWARD, F.S. (ed.). Plant Physiology. New York, Academic Press, v. 3, p.137-360.
- HEWITT, E.J. & SMITH, T.A., 1975. Plant mineral nutri-  
—. London, English University Press. 298p.
- HOAGLAND, D.R., 1937. Some aspects of the salt nutrition *of* higher plants. Botanical Review, Lancaster, 3: 307-34.
- HUERTA, S.A., 1963. Par de hojas representativo del estado nutritional del cafeto. Cenicafé, Chinchina, 14: 111-28.
- JONES, H.E. e SCARSETH, G.D., 1944. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. Soil Science, 57: 15-24.
- KUPPER, A.; GARCIA, A.W.R.; MARTINS, M.; SANTINATO, R. e FERNANDES, D.R., 1979. Efeito do zinco, aplicado no solo, em cobertura, na forma de sulfato e de óxido de zinco, sobre cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 7. Araxá.
- LANGIN, E.J.; WARD, R.C.; OLSON, R.A. e RHOADES, H.F.,

1962. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization: 11. Lime and P placement effects on P-Zn relations. *Proceedings Science of* , **26**: 574-78.

LINDSAY, W.L., 1972. Inorganic phase equilibrium of micronutrients in soils. In: MORTEVEDT, J.J, Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society American, p. 243-63.

LINGLE, J.C.: TIFFIN, L.L. e BROWN, J.C., 1963. Iron uptake transport of soybeans as influenced by other cations. Plant Physiology, Lancaster, **38**: 71-76.

LO, S.Y e REISENAVER, H.M., 1968. Zinc nutrition of alfafa. Agronomy Journal, **60**: 464-66.

LOHNIS, M.P., 1960. Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. Plant and Soil, The Hague, **12**: 339-376.

LOPES GORÓSTIAGA, O. E., 1972. Contribuição ao Estudo das Relações entre o Zinco e o Fósforo na Nutrição das Plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 44 p. (Tese de Doutorado).

LOUË, A., 1958. A nutrição mineral e a fertilização do café robusta na Costa do Marfim. Fertilidade, Paris, **5**: 27-60.

- MALAVOLTA, E.: PIMENTEL GOMES, F. e COURY, T., 1958. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. I. Resultados preliminares. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". (Boletim no. 14).
- MALAVOLTA, E.: HAAG, H.P. e JOHNSON, C.M., 1961. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. VI. Efeitos das deficiências de micronutrientes em Coffea arabica L. var. Mundo Novo cultivado em solução nutritiva. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, **18**: 147-67.
- MALAVOLTA, E.: HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. e BRASIL SOBRI-NHO, M.O.C., 1974. Nutrição e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pioneira, 727p.
- MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 251p.
- MALAVOLTA, E., 1981. Desordens nutricionais no cerrado. Curso de Atualização em Tecnologia e Manejo de Solos sob Cerrado. Ministério da Educação e Cultura. Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Veterinária. Depto. de Agricultura. 60p.
- MALAVOLTA, E., 1981. Nutrição Mineral e adubação do cafeeiro, passado, presente e perspectivas. In: Insti-

tuto Brasileiro da Potassa, ed. Nutrição e adubação do cafeeiro, São Paulo, p.138-178.

MASS, E.V.; MOORE, D.P. e MASON, B.T., 1969. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. Plant Physiology, Lancaster, **44**: 796-800.

MAXIMOV, N.A., 1946. Fisiologia vegetal. Versión española por Armando Teodoro Hunziker. Buenos Aires, ACME, 433p.

MEDCALF, J.C. e LOTT, W.L., 1956. Metal chelates in coffee. IBEC, Research Institute, (11): 1-19.

MEDINA, E.H. e SHIVE, J.W., 1946. Calcium-boron relationship in the nutrition of corn and the distribution of these elements in the plants. Journal Agricultural University Porto Rico, **30**: 255-289.

MENARD, L.N., 1956. Efeitos do fósforo e de alguns micronutrientes no crescimento e composição química do cafeeiro (Coffea arabica L., var. Caturra, K.M.C.) cultivado em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 64p. (Tese de Doutorado).

MENARD, L.N. e MALAVOLTA, 1957. Absorção e distribuição do P radioativo no cafeeiro (Coffea arabica L. var. Caturra, K.M.C.). Boletim da Superintendencia dos Serviços do Café São Paulo, 32(366): 7-14

- MENGEL e KIRKBY, 1978. Principles of Plant Nutrition. Bern, International Potash Institute, 593p.
- MENGEL, K. e KIRKBY, E.A., 1982. Principles of plant nutrition. 3 ed., Bern, International Potash Institute, 665p.
- McILRATH, W.J., 1965. Mobility of boron in several dicotyledonous species. Botanical gazette, Chicago, **126**: 27-30.
- MILLIKAN, C. K., 1963. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (Trifolium subterraneum L.) Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, **14**: 180-205.
- MITCHELL, J.W.; SCHNEIDER, I.R. e GAUCH, H.G., 1960. Translocation of particles within plants. Science, New York, **131**(3417): 1863-1870.
- MOTSARA, M. R., 1974. Micronutrient Research in India. The identification and understanding of the problem with particular reference to zinc deficiency. Isotope-aided micronutrient studies in rice production with special-reference to zinc deficiency. - FAO/IASA, Vienna, p. 51-74.
- MUHR, G.R., 1942. Plant symptoms of boron deficiency and effects of borax on the yield and chemical several

crops. Soil science, 54: 55.

MULLER, L., 1958. Observación y control de las deficiencias de elementos menores em el cafeto. Turrialba, 3(4) : 126-35.

MULLER, L., 1959. La aplicación del diagnóstico foliar em el cafeto (Coffea arabica L.) para una mejor fertilization. Turrialba, 3(4) : 110-122.

NIJHOFF, M. e JUNK, W., 1985. Micronutrients in tropical foods. Fertilizers Research, 7: 108-147.

OLSEN, S.R., 1972. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; P.M. GIODARNO e W.L. LINDSAY (coord.), Micronutrients in Agriculture Madison, Soil Science Society of America, p.243-64.

OZANNE, P.G., 1955. The effect of nitrogen on zinc deficiency in subterraneum clover. Australian Journal Of Biological Sciences, East Melbourne, 8: 47-55.

PAULA, M.B. de, 1975. Composição mineral foliar do café (Coffea arabica, L.); efeitos de pulverização com zinco e boro. UFV/Viçosa (Dissertação de Mestrado). 43p.

PAULSEN, G.M. e ROTIMI, O.A., 1968. Phosphorum-zinc interaction in two soybean varieties differing in

- sensitivity to phosphorus nutrition. Proceedings Soil Science Society of America, 32: 73-76.
- PEREIRA, J.F.; CRAFTS, A.S. e YAMAGUCHI, S., 1963. Translocation in coffee plants. Turrialba, 13(2): 64-79.
- PEREIRA, J.E.; SANTINATO, R. e MIGUEL, A.E., 1976. Levantamento do estado nutricional do cafeeiro com base na análise foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 40. Caxambú, Resumos Rio de Janeiro, IBC, p.159-64.
- PEREZ - ESCOLAR, R., 1957. Efecto de la acidez del suelo en la producción de café y medidas correctivas recomendadas. Revista de Agricultura de Puerto Rico. 44(2): 93-97.
- PRICE, C.A.; CLARK, H.E.; FUNKHOUSER, E.A., 1973. Functions of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, T.T., ed. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 666p.
- RAMAIAH, P.K.; RAO, MR.V. e CHOKKANA, N.G., 1964. Zinc deficiency and the amino acids of coffee leaves (Coffea arabica, L.). Turrialba, 14(3): 136-9.
- RASMUSSEN, H.P., 1967. Calcium and strenght of leaves. I. Anatomy and histochemistry. Botanical Gazette, Chica-

toria, 2: 33-40.

STEPHANS, D., 1967. A note on the correlations between coffee yields and soil analysis in Uganda. East African Agricultural and Forestry Journal, Nairobi, 32(4): 456-58. ✓

STUKENHOLTZ, D.D.; OLSEN, R.J.; GOGAN, G. e OLSON, R.A., 1966. On the mechanism of phosphorus-zinc interation in corn nutrition. Proceedings, Soil Science Society of America, 30: 759-763.

TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E. e BRADFORD, B.N., 1966. Response of corn to zinc as affected by nitrogen and phosphorus fertilizers. proceedinas. Soil Science Society of America, 30: 759-763.

TIFFIN, L.O., 1967. Translocation of manganese, iron, cobalt, and zinc in tomato. Plant Physiology, Rockville, 42: 1427-32.

TSUI, C., 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. American Journal Of Botany, Columbus, 35(3): 172-80.

VIETS, F.S. JR; BOAWN, L.C. e CRAWFORD, C.L., 1957. The effect of nitrogen and type of nitrogen carrier on plant uptake of indigenous and applied zinc. Procee-

go, 128: 219-23.

RATHORE, V.S.; WITTWER, S.H.; TYUNG, W.H.; JAJAJ, Y.P.S. e ADAMS, M.W., 1970. Mechanisms of zinc uptake in beans (Phaseolus vulgaris) tissues. Plant Physiology, Rockville, 23: 908-19.

RUDGERS, L.A.; DEMETERIO, J.L.; PAULSEN, G.M. e ELLIS, R., 1970. Interation among atrazine, temperature and phosphorus induced zinc deficiency in corn (Zea mays L.). Proceedings, Soil Science Society of America, 34: 240-244.

RUSSEL, E.J., 1927. Soil conditions and plant growth. London, Longmans, 655p.

SARRUGE, J.R.; AMORIN, H.V. de e MALAVOLTA, E., 1963. Estudo sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XVIII. Nota sobre a absorção foliar e radicular do fósforo por plantas jovens de Coffea arabica L., var. Mundo Novo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 23: 81-4.

SARRUGE, J.R. e HAAG, H.P., 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ/Departamento de Química, 56p.

SARRUGE, J. R., 1975. Soluções nutritivas. Suma Phytopathologica. Piracicaba, 1: 231-233.

- SCHIMID, W.E.; HAAG, H.P. e EPSTEIN, E., 1965. Absorption of zinc by excized barley roots. Plant Physiology, Rockville, 18: 860-9.
- SHARMA, K.C.; KRANTZ, B.A.; BROWN, A.L. e GUICK, J., 1968a. Interactions of Zn and P in top and root of corn and tomato. Agronomy Journal, 60: 453-56.
- SHARMA, K.C.; KRANTZ, B.A.; BROWN, A.L. e GUICK, J., 1968b. Interactions of Zn and P with soil temperature in rice. Agronomy Journal, 60: 652-55.
- SILVA, H.L. e SILVA, H.L., 1956. Variação de composição mineral de folhas de cafeeiro. Revista do Café Português, Lisboa, 12: 15-34.
- SKOOG, F., 1940. Relationship between zinc and auxin in growth of higher plantas. American Journal of Botany, Columbus, 27(10) : 239-51.
- SOUZA, V.H. da S.; MAESTRI, M; BRAGA, J.M. e CHAVES, J.R.P., 1975. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café. Revista Ceres, 22(123) : 318-31.
- STANTON, D.A. e BURGER, R.DUT., 1970. Studies on zinc in selected orange free state soils. IV. Factors affecting the availability of zinc. Agrochemophysica, Pre-

dings. Soil Science Society of America, Madison, 21:  
197-201.

WEAR, J.I., 1956. Effect of soil pH and calcium on uptake  
of zinc by plants. Soil Science, Baltimore, 81: 311-7.

WIDDOWSON, J.P., 1966. Zinc deficiency on the shallow  
soils of Nine. Effects of zinc sulphate on the yield  
and nutrient composition of aotalaria and sweet corn.  
~~New Zealand Journal of Agricultural Research~~, We-  
llington, % 748-70.